



Universidade Federal de São Paulo

Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas

Campus Diadema

Bruna Ziliatto Schmidt

**COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS GOD, DRASTIC, AVI E AVI
RECLASSIFICADO NA ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DO RIBEIRÃO DOS
COUROS – DIADEMA/SP, BRASIL**

Diadema

2020

BRUNA ZILIATTO SCHMIDT

**Comparação entre as metodologias GOD, DRASTIC, AVI e AVI Reclassificado
na estimativa da vulnerabilidade das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica
Urbana do Ribeirão dos Couros- Diadema/SP, Brasil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Ambientais ao Instituto de Ciências Ambientais ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – *Campus* Diadema.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Benedito Baptista Leite

Diadema

2020

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

Schmidt, Bruna Ziliatto

Comparação entre as metodologias GOD, DRASTIC, AVI e AVI
Reclassificado na estimativa da Vulnerabilidade das Águas
Subterrâneas Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros -
Diadema/ Sp - Brasil / Bruna Ziliatto Schmidt. – – Diadema, 2020.
62 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências
Ambientais) - Universidade Federal de São Paulo - Campus
Diadema, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Benedito Baptista Leite

1. Vulnerabilidade. 2. Aquífero. 3. GOD. 4. DRASTIC. 5. AVI. I.
Título.

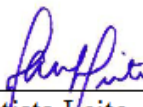
Bruna Ziliatto Schmidt

**Comparação entre as metodologias GOD, DRASTIC, AVI e AVI Reclassificado
na estimativa da vulnerabilidade das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica
Urbana do Ribeirão dos Couros- Diadema/SP, Brasil**

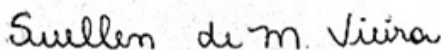
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais, ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – *Campus* Diadema

Data de Aprovação: 16/10/2020

Banca Examinadora:



Prof. Dr Claudio Benedito Baptista Leite – Ciências Ambientais – UNIFESP
(Presidente)



M. Sc. Suellen de Melo Vieira – Ciências Ambientais – UNIFESP



M. Sc. Douglas da Silva Tanajura – Ciências Ambientais – UNIFESP

Resumo

A intensa atividade antrópica favorece o aumento da utilização das águas subterrâneas para o abastecimento, além de causar um aumento potencial de atividades poluidoras, evidenciando a necessidade de proteção deste recurso. Apesar de possuírem relativa resiliência e capacidade de atenuação natural de contaminantes, as águas subterrâneas, uma vez poluídas, sua remediação é uma tarefa complexa e cara, na maioria dos casos. A vulnerabilidade de um aquífero representa a suscetibilidade de ser afetado por uma carga contaminante. O objetivo deste trabalho é a comparação entre as metodologias GOD, DRASTIC, AVI e AVI Reclassificado na avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas na região da bacia hidrográfica urbana do Ribeirão dos Couros, pertencente a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 06 (UGRHI 06) – Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – Subcomitê Billings – Tamanduateí, na Região Metropolitana de São Paulo. A metodologia GOD é considerada um método simplificado, utilizando somente três parâmetros hidrogeológicos, enquanto o método DRASTIC faz uso de sete parâmetros. O método AVI calcula o índice de vulnerabilidade a partir da resistência hidráulica, considerando a espessura das camadas sedimentares existentes no aquífero, e a condutividade hidráulica das mesmas. A aplicação do método GOD, gerou um mapa com menos detalhamento, com valores de vulnerabilidade variando entre baixa e média, subestimando classes de vulnerabilidades altas, e extremamente altas encontradas na aplicação dos métodos AVI, AVI Reclassificado e DRASTIC. O método que apresentou maior detalhamento de resultados foi o DRASTIC, com valores de vulnerabilidade variando entre baixa, moderada e alta. Entende-se este fato pelo maior uso de parâmetros, trazendo por consequência resultados com vulnerabilidades mais assertivas, e um mapa bastante pormenorizado, se mostrando como o método mais adequado para ser aplicado na área da Bacia do Ribeirão dos Couros.

Palavras chave: Vulnerabilidade, GOD, DRASTIC, AVI e AVI Reclassificado, Ribeirão dos Couros.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por tudo. Por eu estar onde estou, ser quem eu sou, e por todas as graças alcançadas no decorrer de minha vida.

Agradeço aos meus pais e a minha família que sempre se fizeram presentes, exercendo, além do papel de família, o papel de grandes amigos, que cuidam, ensinam e me amam, acima de tudo. Se hoje sou o que sou, devo tudo a eles. Amo imensamente cada um.

Agradeço ao meu orientador, professor e amigo Dr. Claudio Benedito. Baptista Leite, por ter confiado na minha pesquisa e no meu trabalho, contribuindo para meu amadurecimento como estudante e enfim, como Cientista Ambiental.

Agradeço a amiga que a Unifesp me deu, Suellen M. Vieira. Ela foi uma figura fundamental para a elaboração deste trabalho me ajudando em várias etapas e dúvidas. Sei que ganhei uma amiga para a vida toda.

Agradeço também a minha amiga Heloisa F. Camargo, que desde o início da graduação esteve do meu lado, me acompanhando em todos os momentos, os felizes, os de ansiedade, de incertezas, de festas, e, como não poderia ser diferente, me ajudou bastante nesse momento, sendo essencial para que eu conseguisse finalizar este trabalho com calma. Levo nossa amizade no meu coração para onde quer que eu vá. E como eu não poderia me esquecer, agradeço a Bárbara Ferreira, Bárbara Bezerra e Juliana Lugli, por embarcarem comigo nessa jornada louca da graduação. Além de todas as pessoas queridas que me apoiaram, mesmo que de longe e indiretamente, vocês, meus grandes amigos, dedico a minha eterna gratidão. Amo todos vocês.

Por fim, agradeço por ter escolhido Ciências Ambientais, esse curso me conquistou desde o primeiro dia de aula.

Lista de Figuras

Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros.....	17
Figura 2: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros...	20
Figura 3: Mapa de Unidades Aquíferas da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros.....	21
Figura 4: Mapa Cobertura do solo da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros.....	23
Figura 5: Mapa de Condutividade Hidráulica da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros.....	26
Figura 6: Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade aquífera.....	35
Figura 7: Mapa de Vulnerabilidade elaborado pelo método GOD.....	43
Figura 8: Mapa de Vulnerabilidade elaborado pelo método DRASTIC.....	44
Figura 9: Mapa da Vulnerabilidade elaborado pelo Método AVI.....	45
Figura 10: Mapa de Vulnerabilidade elaborado pelo método AVI Reclassificado.....	46

Lista de Tabelas

Tabela 1: Índices específicos para cada um dos parâmetros que compõe a metodologia GOD.....	27
Tabela 2: Classes de Vulnerabilidade pela metodologia GOD.....	27
Tabela 3: Índices e pesos específicos para cada um dos parâmetros que compõe a metodologia DRASTIC.....	30
Tabela 4: Classes de Vulnerabilidade DRASTIC.....	31
Tabela 5: Classes de Vulnerabilidade pelo método AVI.....	32
Tabela 6: Classes de Vulnerabilidade AVI Reclassificado.....	33
Tabela 7: Valores atribuídos aos índices G, O e D considerando as características da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros.....	36
Tabela 8: Valores atribuídos ao parâmetro D da metodologia DRASTIC.....	37
Tabela 9: Valores atribuídos ao parâmetro R da metodologia DRASTIC.....	37
Tabela 10: Valores atribuídos ao parâmetro A da metodologia DRASTIC.....	38
Tabela 11: Valores atribuídos ao parâmetro S da metodologia DRASTIC.....	38
Tabela 12: Valores atribuídos ao parâmetro T da metodologia DRASTIC.....	39
Tabela 13: Valores atribuídos ao parâmetro I da metodologia DRASTIC.....	39
Tabela 14: Valores atribuídos ao parâmetro C da metodologia DRASTIC.....	40
Tabela 15: Valores atribuídos ao método AVI.....	40

Sumário

1. Introdução	10
2. Justificativas	10
3. Objetivo	11
3.1 Objetivos Específicos.....	11
4. Revisão Bibliográfica	12
4.1 Vulnerabilidade	12
4.2 Aquífero	13
4.3 Contaminação das águas subterrâneas	13
4.4 Bacia do Alto Tietê (UGRHI 06)	14
4.5 Estudos Anteriores.....	15
5. Materiais e Métodos	16
5.1 Caracterização da Área de Estudo	16
5.2 Levantamento e Análise de Dados Bibliográficos, Topográficos e Potenciométricos	24
5.3 Ensaio de Condutividade Hidráulica	24
5.4 Metodologia GOD	25
5.5 Metodologia DRASTIC.....	27
5.6 Metodologia AVI	31
5.7 Metodologia AVI Reclassificado	32
5.8 Comparação entre os métodos utilizados.....	33
5.9 Valores estabelecidos aos Parâmetros da Metodologia GOD	34
5.9.1 Valores estabelecidos aos Parâmetros da Metodologia DRASTIC	36
5.9.2 Valores estabelecidos aos Parâmetros da Metodologia AVI	40
5.9.3 Valores estabelecidos aos Parâmetros da Metodologia AVI Reclassificado.....	41

6. Apresentação e análise dos resultados.....	41
6.1 Índice GOD	41
6.2 Índice DRASTIC.....	41
6.3 Índice AVI	42
6.4 Índice AVI Reclassificado	42
7. Discussão.....	47
8. Conclusão	53
9. Referências Bibliográficas	55
10. Anexos.....	61

1. Introdução

As águas subterrâneas possuem suma importância para o abastecimento público, tendo maior relevância em grandes cidades, devido a grande demanda por esse recurso e pequenos municípios periféricos, em que as comunidades não possuem, por conta da inviabilidade econômica, instalação ou prolongamento de sistema de distribuição de água (MOREIRA, 2012).

A utilização crescente das águas subterrâneas para fim de abastecimento público intensifica a importância de proteger esse recurso diante de uma sociedade que está inserida em um cenário de intensas atividades poluidoras. Alguns exemplos destas intensas atividades são o descarte de resíduos industriais, resíduos sólidos, saneamento urbano e atividades agrícolas (IPT, 2011).

Tendo em vista a extrema importância da água, e quão fundamental é sua existência para a manutenção de processos vitais, ecossistêmicos e para o desenvolvimento econômico e social, sua preservação e elaboração de planos estratégicos de gestão e conservação são questões primordiais e inadiáveis.

Segundo Kaur e Rosin (2011) apesar dos potenciais riscos advindos de atividades antrópicas poluidoras, as águas subterrâneas se mostram bastante resilientes e sua qualidade é classificada como boa em inúmeras áreas do mundo. Isso deve-se à capacidade natural de atenuação e mitigação destes sistemas. Porém, mesmo com esta resiliência, uma vez ocorrida a contaminação de um aquífero, sua remediação costuma ser uma tarefa complexa e cara, sendo assim, a estimativa da vulnerabilidade à degradação destes sistemas é extremamente importante, visando sempre a conservação da qualidade das águas subterrâneas.

A estimativa da vulnerabilidade de um aquífero resulta da realização de estudos específico, sendo GOD, DRASTIC e AVI as metodologias mais utilizadas. Todas exprimem informações relevantes sobre potencial de contaminação.

2. Justificativas

A preocupação com a qualidade e a finitude de recursos naturais vitais para os seres vivos, como por exemplo a água, é uma questão determinante dentro de uma dinâmica de conservação ambiental que busca garantir boa qualidade de vida para todas as gerações, humanas e não humanas, atuais e futuras.

A água doce é considerada um recurso natural vital uma vez que, se escassa ou em condições de contaminação, afeta a sobrevivência dos seres vivos, além de afetar as atividades humanas, já que todas dependem deste recurso. Apesar de tão importante, a água doce corresponde a apenas 0,6% do total de água existente no Planeta, sendo que 98% desta é encontrada em aquíferos, evidenciando a importância que estes possuem (CETESB, 2020).

A Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, por estar localizada no interior dos municípios de Diadema e São Bernardo do Campo, municípios estes caracterizados por altas densidades populacionais além de altas concentrações industriais de diferentes setores, apresenta grande quantidade de fontes potenciais de contaminação de suas águas, como por exemplo, comércios, indústrias, além de postos de combustíveis (VIEIRA, 2019).

Sendo assim, os estudos de vulnerabilidade se tornam extremamente importantes, já que possibilitam a elaboração de procedimentos que garantam a preservação da qualidade dessas águas subterrâneas (BARBOSA *et al.* 2011).

3. Objetivo

O objetivo principal deste trabalho compreende a comparação das metodologias GOD, DRASTIC, AVI e AVI Reclassificado na estimativa da vulnerabilidade das águas subterrâneas na área da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, bacia esta que está inserida no interior da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 06 (URGRHI 06), denominada Bacia do Alto Tietê – Subcomitê Billings – Tamanduateí.

3.1 Objetivos Específicos

Para que seja alcançado o objetivo geral deste estudo, foi previsto o atendimento dos seguintes objetivos específicos:

- Estudo e aprofundamento da metodologia DRASTIC
- Estudo e aprofundamento da metodologia GOD
- Estudo e aprofundamento da metodologia AVI
- Síntese da vulnerabilidade da Bacia do Ribeirão dos Couros pela metodologia GOD, DRASTIC, AVI e AVI Reclassificado.

4. Revisão Bibliográfica

4.1 Vulnerabilidade

A Vulnerabilidade intrínseca de aquíferos é um conceito que entrelaça atributos relevantes para determinação do quão suscetível um aquífero é em decorrência de eventos de contaminação.

Os atributos determinantes, de maneira geral, para a classificação da vulnerabilidade de um aquífero são a atenuação natural que o sistema possui para degradar naturalmente um contaminante que pode estar presente no solo e migrar para as águas subterrâneas; a capacidade de recarga do aquífero; a capacidade de carreamento do contaminante no meio hidrogeológico; e a acessibilidade à zona saturada do aquífero – profundidade do lençol freático (FOSTER *et al.*, 2002, NOBRE, 2006). Para ditar como cada um destes fatores atua na determinação da vulnerabilidade de um aquífero, tais fatores são quantificados por meio de equações matemáticas gerando um índice de vulnerabilidade (MAIA *et al.*, 2011).

Segundo Vrba e Zaporozec (1994), após discussões e contribuições de diversos pesquisadores presentes na “Conferência Internacional em Vulnerabilidade do Solo e Águas Subterrâneas aos Poluentes”, propuseram o conceito de vulnerabilidade em sistemas aquíferos, como uma

“[...] propriedade intrínseca do sistema de águas subterrâneas que depende da sensibilidade do sistema frente aos impactos humanos e/ou naturais e a tendência ou probabilidade do contaminante ser encontrado em uma posição específica no sistema de água subterrânea após sua introdução em algum local acima do aquífero”.

Tais propriedades intrínsecas dizem respeito a condutividade hidráulica, profundidade do nível d’água, capacidade de recarga, além de outros fatores que caracterizam a hidrogeologia e geologia do meio físico.

4.2 Aquífero

Define-se como aquíferos formações geológicas permeáveis e porosas, com saturação de água em condições de produzir considerável volume de água em nascentes e poços (TODD, 2005).

Estas formações denominadas aquíferos podem ser classificadas em duas categorias principais relativamente ao armazenamento da água: 1) livres ou freáticos e 2) confinados ou artesianos.

Os aquíferos livres ou freáticos possuem como característica o nível d'água coincidir com seu limite superior da zona saturada, e submetidos à pressão atmosférica. Já os aquíferos confinados ou artesianos, encontram-se sob condições de isolamento por materiais com baixa permeabilidade, tanto na parte superior, como inferior, fazendo com que a água, no interior desta formação, se encontre sob pressão acima da pressão atmosférica (TODD, 2005).

Outra classificação para os tipos de aquíferos se baseia no tipo de rocha armazenadora da água. São classificados como porosos ou sedimentares, fraturados e cársticos. Pontos característicos deste tipo de classificação são suas estruturas formadoras. Aquíferos sedimentares possuem propensão de acúmulo de água em quantidades significativas por conta de sua porosidade bem distribuída. Aquíferos classificados como fraturados, resultam de formação rochosa maciça, em que a percolação da água acontece por meio das fraturas existentes. Por fim, os aquíferos cársticos, resultam de formação composta por rochas carbonáticas, ou calcárias (TODD, 2005).

4.3 Contaminação das águas subterrâneas

A contaminação das águas subterrâneas pode ter sua origem de diversas atividades, porém, uma das principais fontes de contaminação se dá a partir da disposição inadequada de resíduos, assim como o despejo de efluentes não tratados no meio, contaminando o solo. Sob essa mesma perspectiva, a crescente urbanização nas grandes cidades, acabam por demandar um maior volume de água, recorrendo ao uso das águas subterrâneas, assim como, ocorre de maneira mais

desenfreada sua contaminação, já que as atividades industriais, e até mesmo agrícolas possuem esse potencial (LEITÃO *et al.*, 2003).

A suscetibilidade de um aquífero ser afetado por contaminantes expressa seu grau de vulnerabilidade frente a eventos de atividades poluidoras atuantes no terreno (DAEE, 2013).

Segundo Foster *et al.* (2002), os sistemas de águas subterrâneas surgem a partir do processo de infiltração da água através da superfície do solo. Sendo assim, as atividades antrópicas que ocorrem nesta superfície possuem potencial poluidor, sendo elas uma ameaça para a qualidade das águas subterrâneas.

No mesmo contexto, caso for submetido a uma contaminação, o sistema aquífero passa a perder qualidade da água subterrânea que o compõe. Sendo assim, frente a esses eventos, é necessário levar em consideração tanto a vulnerabilidade intrínseca do sistema, como também quão poluidora é a atividade que desencadeou a contaminação, para que seja palpável uma avaliação de suscetibilidade do aquífero em questão (FOSTER *et al.*, 2006).

Por meio da interpretação dos resultados advindos da caracterização de um aquífero frente a eventos potenciais de contaminação, torna-se possível gerir de maneira mais eficiente medidas prioritárias de proteção e controle em determinados pontos do sistema, a fim de proteger os aquíferos (BARBOSA *et al.*, 2011).

4.4 Bacia do Alto Tietê (UGRHI 06)

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 06 (UGRHI 06) – Bacia do Alto Tietê, diz respeito a uma área de cerca de 5.985 km² que drena os principais rios da Região Metropolitana de São Paulo, sendo o rio Tietê seu principal curso de água (FABHAT, 2016).

Em termos gerais os regimes hidrológicos desta bacia hidrográfica são complexos e ao comparar com as demais UGRHIs do Brasil observa-se que a UGRHI 06 é a que possui menor disponibilidade de água por habitante, uma vez que se encontra em uma região com alta densidade populacional (FABHAT, 2016).

Por conta disso, os municípios desta região necessitam de maior atenção no que se diz respeito às práticas de uso de recursos hídricos e uso do solo, promovendo ações conscientes que visem a proteção e conservação qualidade das águas subterrâneas e mananciais (FABHAT, 2016).

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê possui elevados índices de precipitação média anual, isso porque se encontra em uma região com relativa proximidade à Serra do Mar, em que o fornecimento de umidade vinda do mar é bastante intenso. Em locais mais isolados, estes índices são menores, pela mesma razão. De maneira geral, a precipitação média da bacia encontra-se em torno de 1.400 mm/ano (FUSP, 2009).

4.5 Estudos Anteriores

A fim de buscar resultados que expressem interpretações e informações diferentes e cabíveis de comparações, enriquecendo um estudo de avaliação de vulnerabilidade de aquífero, faz-se necessária a utilização de diferentes métodos, cada qual, com seus pontos positivos e negativos.

Alguns trabalhos vêm sendo realizados com este objetivo, tais como o trabalho desenvolvido por Bós (2008), em que o mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas foi feito a partir da utilização de sete metodologias diferentes, sendo elas EPPNA, DRASTIC, GOD, AVI, SINTACX, SI e método Bós. Todos os métodos foram aplicados em Sananduva, interior de São Paulo, Brasil. Outro exemplo é o trabalho desenvolvido por Rabvar *et al.* (2009), em que o estudo foi norteado pela comparação de quatro métodos, EPIK, PI, o chamado pelos autores de “Método Simplificado” e a “Abordagem Eslovênia”, todos aplicados em um mesmo aquífero, localizado na Eslovênia. Já Fernandes *et al.* (2014) realizou um trabalho com o mesmo objetivo, porém, a comparação foi feita apenas entre dois métodos distintos, DRASTIC e GOD, na bacia do Rio Cabril, em Portugal.

Vieira (2015) também desenvolveu estudos utilizando os métodos DRASTIC e GOD na estimativa da vulnerabilidade das águas subterrâneas no Aquífero Guarani, Brasil, e Guiguer e Kohnke (2020) realizou avaliações de vulnerabilidade nas cidades de Ottawa e Ontário (Canadá) e na cidade de Caçapava, localizado no

estado de São Paulo, Brasil. Essas avaliações foram realizadas a partir dos métodos, DRASTIC, AVI, GOD.

5. Materiais e Métodos

5.1 Caracterização da Área de Estudo

A bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros está localizada no interior dos municípios de Diadema, São Bernardo do Campo e São Paulo. O Ribeirão dos Couros nasce em Diadema, na região da represa Billings, flui pela divisa dos municípios de Diadema e São Bernardo do Campo para, finalmente, desaguar no Ribeirão dos Meninos, no município de São Caetano do Sul na divisa com o Município de São Paulo.

Sua área de drenagem corresponde à cerca de 49,7 km², sendo aproximadamente metade desta área no município de Diadema e metade no município de São Bernardo do Campo (Figura 1).

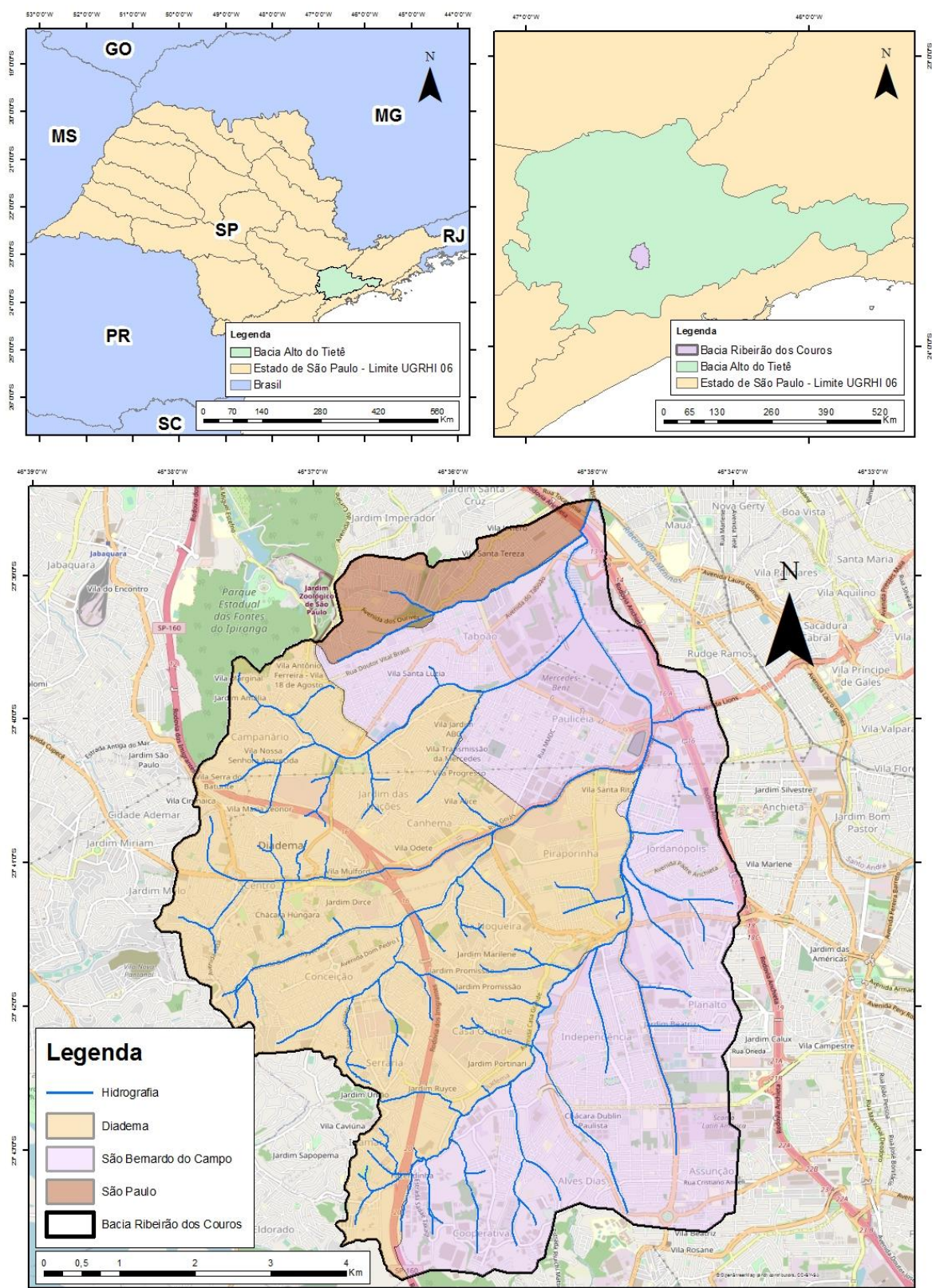


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros

A Bacia do Ribeirão dos Couros se encontra majoritariamente em área fortemente urbanizada, sendo uma região marcada por alta densidade populacional e grandes atividades industriais.

O município de São Bernardo do Campo possui população estimada em 838.936 habitantes, com expectativa de crescimento anual de 0,75% e PIB per capita de R\$ 53.998,54 (IBGE, 2019a). Diadema, por sua vez, possui população estimada em 423.884 habitantes e PIB per capita de R\$ 32.097,86 (IBGE, 2019b).

Segundo Coutinho (1980), a região da Bacia do Ribeirão dos Couros é representada por unidades geológicas do Grupo Embu, definido por três litotipos: Micaxisto de médio grau metamórfico, incluindo xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica; Migmatitos e gnaisses graníticos encontrados em zonas de movimentação tectônica instensificada, e Granitos e granodioritos normais ou em partes gnáissicos, equigranulares ou porfiróides.

A bacia contempla também Depósitos Aluviais do Quaternário e Grupo Taubaté, sendo os Depósitos Aluviais do Quaternário (Qa), constituídos por depósitos colúvio-aluvionares principalmente em regiões próximas das drenagens principais dos corpos hídricos. Nesta unidade geológica também pode ocorrer depósitos holocênicos ou pleistocênicos, sendo o primeiro caracterizado por coluviões descontínuos, com presença de cascalheiras e aluviões, camadas argilosas com bastante matéria orgânica, além de camadas arenosas. Já os depósitos pleistocênicos consistem em coluviões argiloarenosos, com presença de lentes conglomeráticas e aluviões subordinados constituído por conglomerados basais sobrepostos por areia grossa com estratificações cruzadas, com porções argilosas (GURGUEIRA, 2013).

O Grupo Taubaté, segundo RICCOMINI *et al.* (2004), correspondente ao Terceário/Quaternário, e compreendem as formações Resende, Tremembé e São Paulo. Entretanto, na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Couros só há presença da formação Resende (TQa), caracterizada por leques aluviais em posição distal que se relacionam com rios entrelaçados(Figura 2).

A região possui relevo em Tabuleiros dissecados em Colinas Amplas e suaves, assim como possui, também, predomínio de sedimentos arenosos, pouco

resistentes e com baixa consistência, associados à bacia continental do tipo “Rift”. A região é caracterizada por amplas planícies aluviais que podem sofrer inundações, ditando como é o comportamento dominante do sistema de drenagem da região da área de estudo (CPRM, 2009).

A hidrogeologia dominantes na Bacia do Ribeirão dos Couros (Figura 3) é constituída pelos Sistema Aquífero Cristalino (SAC) e Sistema Aquífero Sedimentar (SAS).

O SAC possui domínio de rochas cristalinas, pré-cambrianas magmáticas e metamórficas, regiões estas em que a água possui a capacidade de percolar nas descontinuidades/fraturas existentes (HIRATA e FERREIRA, 2001).

O SAS é um sistema aquífero livre a semi-confinado, com alta heterogeneidade e porosidade primária, diferente do SAC, que é um sistema de caráter livre a semi-livre, e anisotrópico (HIRATA e FERREIRA, 2001). Além disso, o domínio sedimentar é caracterizado por armazenar água entre os poros presente em sua formação bastante granular (FABHAT, 2016).

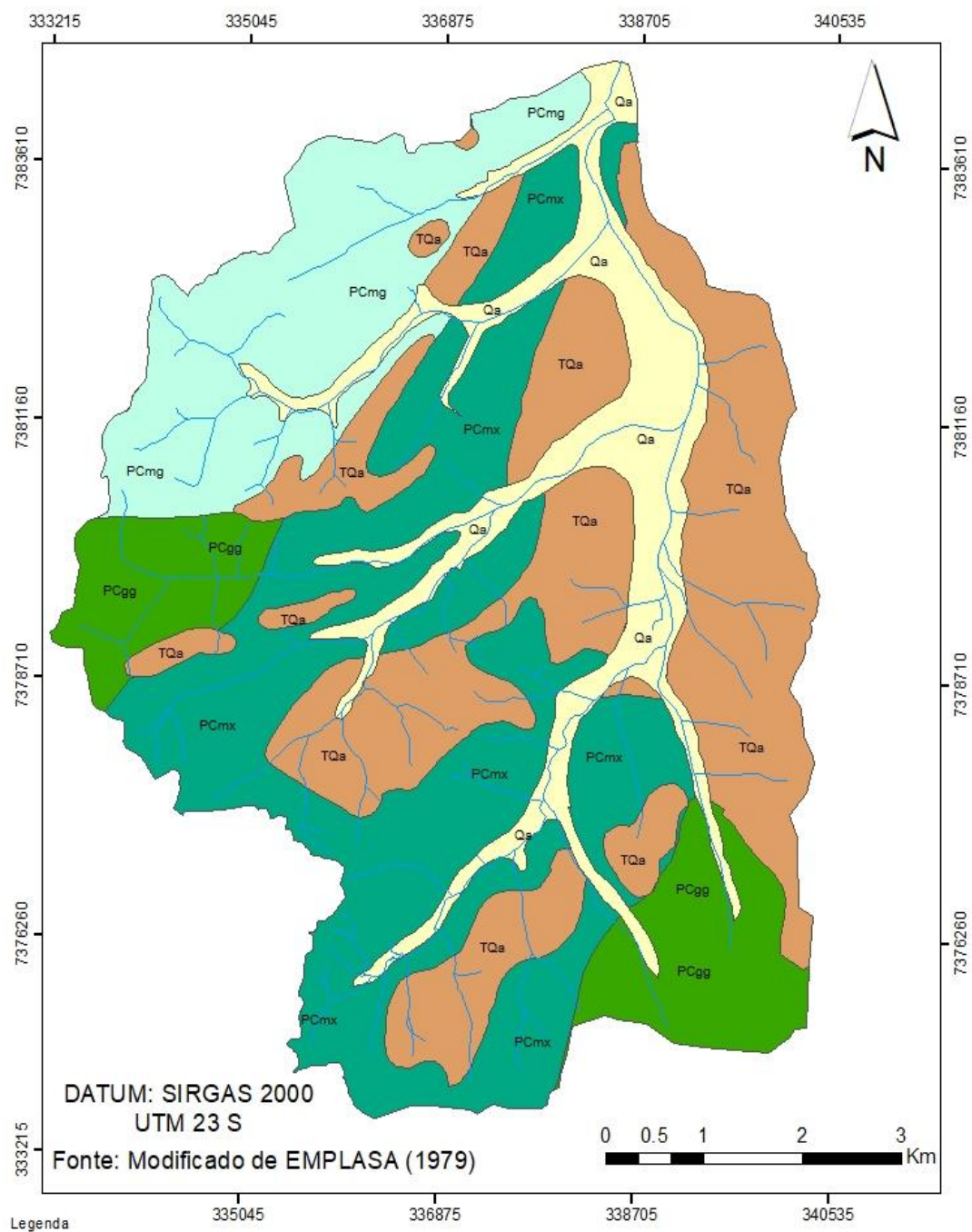


Figura 2: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros. Fonte: VIEIRA, 2019.

Unidades Aquíferas Bacia Ribeirão dos Couros

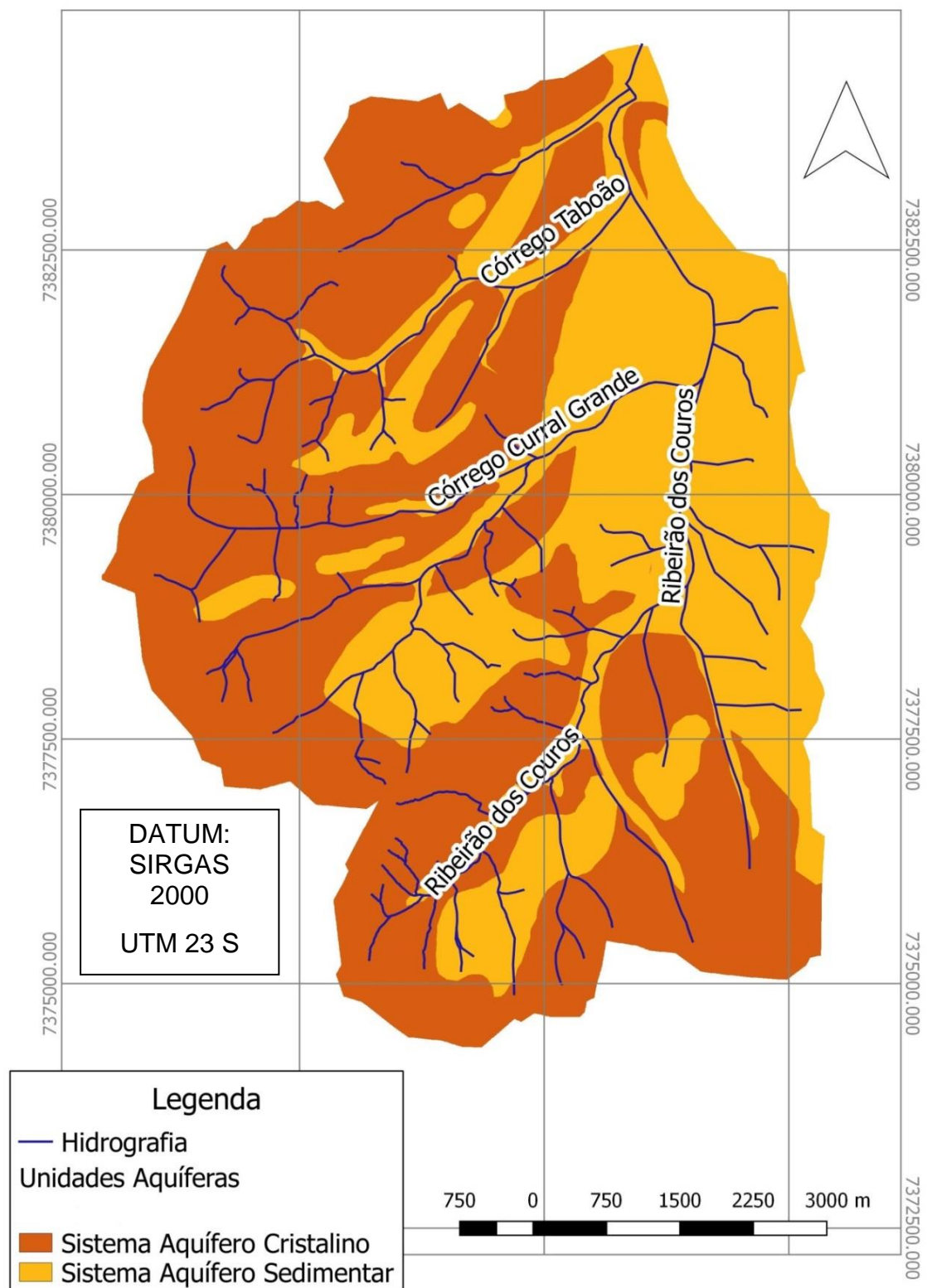


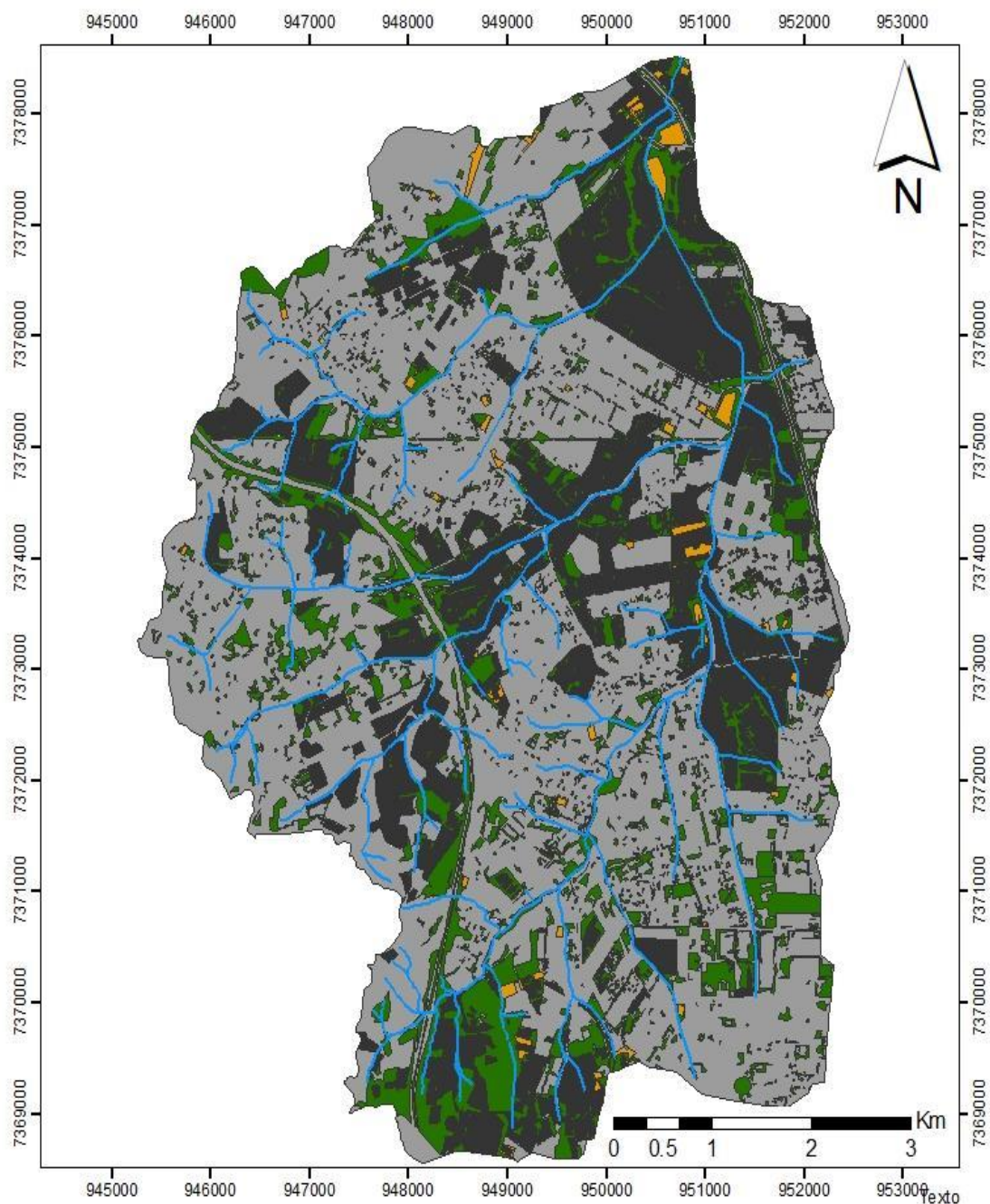
Figura 3: Mapa de Unidades Aquíferas da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros. Fonte: Vieira, 2019.

Os solos presentes no interior da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Couros são predominantemente do tipo Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos, Argissolos-Vermelhos Eutróficos e Latossolos Vermelho-Amarelos (EMBRAPA, 2011) (ANEXO A).

Os Argissolos são solos caracterizados por serem bastante desenvolvidos uma vez que sua estrutura possui profundidades variadas e um gradiente de texturas devido a presença de argila acumulada nas camadas mais superiores. É um solo pobre em matéria orgânica e sua drenagem interna é bastante diversificada, propiciando a este tipo de solo maiores chances de ocorrência de erosão hídrica (EMBRAPA, 2005).

Os solos denominados por Latossolos são bastante profundos, porosos e possui, também, diversas texturas com presença de argila de baixa atividade em sua composição. São solos bastante trabalhados pelo processo de intemperização e por essa razão sua morfologia é bastante similar por todo perfil. Por possuírem alto teor de óxidos de ferro, o solo é caracterizado pela cor, principalmente vermelho-alaranjada, exceto em alguns casos, que há presença de matéria orgânica em camadas mais superficiais, deixando esta região com a coloração mais escurecida (EMBRAPA, 2005).

No que se diz respeito ao uso e cobertura do solo (Figura 4), a área de estudo é predominantemente urbana (80%), sendo apenas uma pequena parcela com áreas recobertas por vegetação ou solo exposto (20%) (VIEIRA, 2019).



**Título: Uso e ocupação do solo
da Bacia Ribeirão dos Couros**

**DATUM: SIRGAS 2000
UTM 23 s**

**Fonte: O autor com base em Imagem
Digital Globe Google @2018.
Escala de digitalização: 1:10000**

Legenda

— Hidrografia

CLA SSE

■ Cobertura Vegetal

■ Indústria

■ Solo Exposto

■ Urbana

Figura 4: Mapa de Cobertura do solo da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros. Fonte: Vieira, 2019.

5.2 Levantamento e Análise de Dados Bibliográficos, Topográficos e Potenciométricos

Para a execução do atual estudo fez-se necessária a busca e seleção de dados bibliográficos e cartográficos pertinentes, referentes à Região da Bacia do Ribeirão dos Couros. Tais informações foram adquiridas por meio de plataformas digitais e visitas aos órgãos da Prefeitura de Diadema e São Bernardo do Campo, incluindo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), além de dissertações, trabalhos de conclusão de curso e artigos publicados sobre o tema.

Os documentos utilizados para a coleta de informações necessárias para o estudo foram, desde imagens de satélite, imagens aéreas, mapeamentos geológicos e hidrogeológicos, até mesmo fichas de poços, acompanhados de relatórios técnicos.

As informações sobre hidrografia e topografia da área correspondente a Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Couros, foram plotadas e tratadas por meio da utilização de softwares.

Para obtenção dos dados de nível d'água da área de estudo, foram utilizadas informações advindas de banco de dados do DAEE (DAEE, 2018) sobre poços de monitoramento, assim como foram fornecidos dados através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas e relatórios de remediação de áreas contaminadas (CETESB, 2018).

A fim de encontrar um maior número de dados potenciométricos passíveis de utilização em toda a área da bacia Urbana do Ribeirão dos Couros, também foram utilizados dados do cruzamento de cursos d'água com a topografia, considerando-se nestes pontos a cota do nível d'água igual à elevação do terreno (VIEIRA, 2019).

5.3 Ensaio de Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica é um parâmetro definido conforme as características do meio, como por exemplo a composição granulométrica do solo (VIEIRA, 2019). Sendo assim, diferentes tipos de formações e características pedogenéticas, ditam diferentes condutividades hidráulicas, cada qual com sua ordem de magnitude, podendo variar entre valores de ordem de grandeza 10^{-3} m/d a valores com ordem

de grandeza de 10 m/d. Associa-se aos valores baixos de condutividade hidráulica a presença de solos argilosos e rochas, já os maiores valores associam-se a formações pedológicas com dominância de siltes e areia (STEMPVOORT, 1992).

O atual trabalho fez uso de valores de condutividade hidráulica (Figura 5) extraídos de Vieira (2019).

5.4 Metodologia GOD

A metodologia GOD, é uma metodologia empírica onde três parâmetros, acrônimo do nome em inglês são considerados:

1. **G** (Groundwater occurrence): Grau de confinamento de água subterrânea, sendo este parâmetro o que analisa o tipo de aquífero do local, podendo ele ser livre, confinado ou semi-confinado.
2. **O** (Overall aquifer class): Classificação litológica da zona vadosa e camadas formadoras do aquífero, permitindo analisar a capacidade de atenuação que a própria estrutura do aquífero possui para com o poluente.
3. **D** (Depth to groundwater table): Profundidade do lençol freático, sendo este o parâmetro que mede a distância da superfície do terreno do aquífero até o início de sua zona saturada (Foster e Hirata, 1988).

Para a estimativa da vulnerabilidade a partir desta metodologia, multiplicam-se cada um dos três parâmetros, a partir de seus respectivos índices específicos, apresentados na Tabela 1. A fórmula empregada para o cálculo é a seguinte:

$$GOD = G \times O \times D$$

(Fórmula empregada para o cálculo final da vulnerabilidade de aquífero)

O resultado final de estimativa se dá a partir de um valor numérico (índice), que varia de 0 a 1 (Tabela 2), sendo 1, o resultado que exprime maior vulnerabilidade.

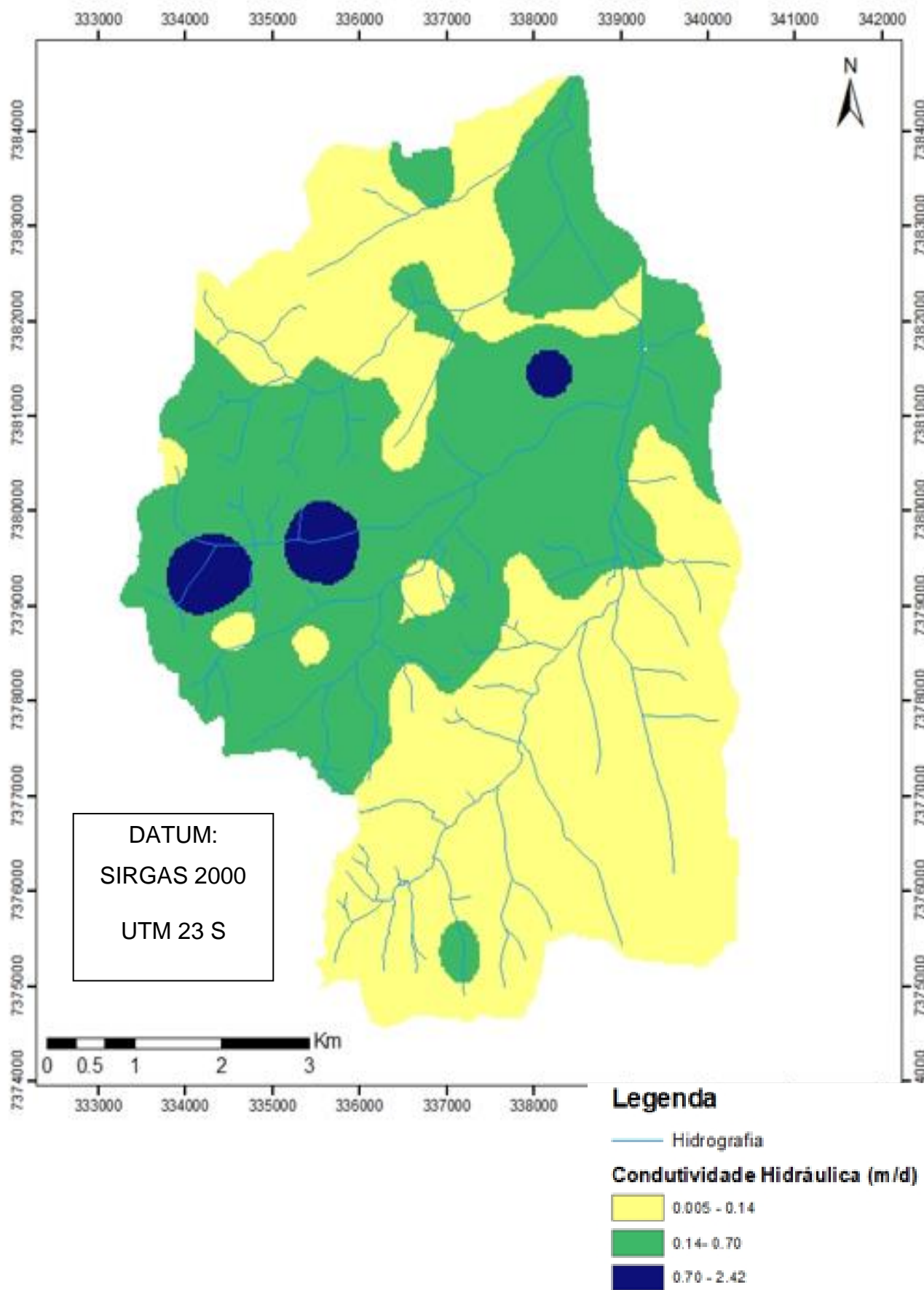


Figura 5: Mapa de Condutividade Hidráulica da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros. Fonte: VIEIRA, 2019.

Tabela 1- Índices específicos para cada um dos parâmetros que compõe a metodologia GOD.

Parâmetro	Classes	Índice
Grau de Confinamento da Água Subterrânea (G)	Nenhum	0
	Fluxo ascendente jorrante	0 - 0,2
	Confinado	0,2 - 0,4
	Não confinado- coberto	0,4 - 0,6
	Não confinado	0,6 -1,0
Litologia da Zona Vadosa e camadas confinantes do aquífero (O)	Argila lacustrina estuariana, solos residuais;	0,4
	Silte, loess, till, glacial, xisto, lamito;	0,5
	Areia eólica, siltito, tufo vulcânico, formações magmáticas/metamórficas e vulcânicas mais antigas	0,6 - 0,8
	Areia aluvial e fluvioglacial, arenito, lava vulcânica recente	0,8
	Cascalho de leque aluviais, calcário, calcarenito, calcrete + calcário cárstico	0,8 - 1,0
Profundidade do lençol freático - Distância (m) até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (D)	>50 m	0,6
	20 – 50 m	0,7
	5 – 20 m	0,8
	<5 m	0,9

Fonte: Adaptado de IPT (2009)

Tabela 2 – Classes de Vulnerabilidade pela metodologia GOD

Classe	Intervalo	Definição Correspondente
Insignificante/Desprezível	0 - 0,1	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação);
Baixa	0,1 - 0,3	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, em longo prazo, quando continua e amplamente lançados ou lixiviados;
Média/Moderada	0,3 - 0,5	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
Alta	0,5 - 0,7	Vulnerável a muitos contaminantes, exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados em muitas condições de contaminação
Extrema	0,7 - 1,0	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação

Adaptado de Foster *et al.*, 2006

5.5 Metodologia DRASTIC

O método DRASTIC foi desenvolvido pela National Ground Water Association e utilizado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - US-EPA (ALLER *et al.*, 1987), e é um sistema padronizado utilizado com a finalidade de avaliar, qualificar e mapear a vulnerabilidade de aquíferos em situações de contaminação, além de viabilizar a priorização de algumas áreas em relação ao

monitoramento, alocação de recursos e proteção de áreas em situações mais críticas buscando garantia da integridade do aquífero em relação ao contato com poluição (ALLER *et al.*, 1987).

Segundo ALLER *et al.*, 1987, a metodologia DRASTIC segue os seguintes pressupostos:

- O contaminante será introduzido na superfície;
- O contaminante se movimenta até a zona saturada do aquífero por meio da infiltração, ou seja, verticalmente;
- O contaminante se dispersa no sistema aquífero juntamente com a água, ou seja, ambos possuem a mesma mobilidade;
- O local de aplicação da metodologia precisa, necessariamente, possuir no mínimo 04 hectares de dimensão;

O método DRASTIC utiliza sete parâmetros, acrônimo do nome em inglês:

1. **D** (*Deph to Water Table*) - **profundidade do nível d'água** representa a distância que um potencial contaminante terá que percorrer, desde a superfície do terreno até a zona saturado aquíferos livres.
2. **R** (*Net Recharge*) - esta variável representa a **recarga do aquífero**, ou seja, a quantidade total de água que percola por infiltração no solo realizando a função de abastecer o aquífero. Além disso, a recarga influencia na dispersão e diluição do contaminante.
3. **A** (*Aquifer Media*) é caracterizado pela **litologia do aquífero**, ou seja, refere-se ao material rochoso que compõe o aquífero, podendo distinguir o tipo de rocha entre consolidada ou não. É a partir da composição rochosa presente no sistema aquífero, que é determinado como este condicionará o fluxo de água subterrânea, e conseqüentemente, o comportamento do contaminante dentro deste sistema.
4. **S** (*Soil Media*) representa o **tipo do solo**, sua espessura, textura, quantidade de matéria orgânica, entre outros fatores, que compõe a zona vadosa, região esta marcada por grande atividade de microrganismos. É

importante pontuar que o tipo de solo influencia diretamente na recarga do aquífero e o contaminante até atingir a zona saturada do mesmo.

5. **T** (*Topography*) esta variável da metodologia se refere à **topografia** do terreno especificamente à sua declividade e sua influência no que se diz respeito ao potencial de escoamento superficial ou infiltração da água. Em situações com maiores declives, menores serão as taxas de infiltração no solo, porém, em contrapartida, acarretará em um maior escoamento superficial.
6. **I** (*Impact of the vadose zone media*) se refere a **Zona Vadosa** que corresponde a zona não saturada do aquífero. Ponto relevante neste tópico é o tipo de material que compõe esta camada mais superficial de solo, uma vez que, o tipo de material é determinante para ocorrência de reações químicas com o contaminante, assim como ocorrência de neutralização e dispersão do mesmo, volatilização e até mesmo biodegradação do presente contaminante.
7. **C** (*Aquifer Hydraulic Conductivity*), esta variável, **Condutividade Hidráulica do Aquífero**, representa a facilidade ou dificuldade na transmissão de água no meio, levando em consideração características como porosidade do aquífero, grau de fratura, e conectividade de espaços vazios.

Todos os 7 parâmetros possuem um determinado peso quando colocados na fórmula para estimativa da vulnerabilidade pelo método DRASTIC, podendo ir de 1, considerados menos relevantes a 5 (Tabela 3), que são por sua vez, os considerados mais importantes, estes valores são fixos e constantes e os pesos são atribuídos para cada uma das variáveis conforme sua importância relativa na quantificação da vulnerabilidade (LOBO-FERREIRA, 1998).

Tabela 3- Índices e pesos específicos para cada um dos parâmetros que compõe a metodologia DRASTIC.

Parâmetro	Classes	Índice	Peso (Padrão)
D - Profundidade do nível d'água (m)	0 - 1,5	10	5
	1,4 - 4,6	9	5
	4,6 - 9,1	7	5
	9,1 - 15,2	5	5
	15,2 - 22,9	3	5
	22,9 - 30,5	2	5
	> 30,5	1	5
R - Recarga do aquífero (mm/ano)	<51	1	4
	51 – 102	3	4
	102 – 178	6	4
	178 – 254	8	4
	>254	9	4
A - Litologia do Aquífero	Xisto Argiloso, argilito	1 – 3	3
	Rocha metamórfica/Ígnea Rocha	2 – 5	3
	Metamórfica/Ígnea alterada	3 – 5	3
	Arenito, calcário e argilito estratificados	5 – 9	3
	Arenito maciço	4 – 9	3
	Calcário maciço	4 – 9	3
	Areia e Cascalho	4 – 9	3
	Basalto	2 – 10	3
	Calcário Carstificado	9 – 10	3
S - Tipo de Solo	Fino ou ausente	10	3
	Balastro	10	2
	Areia	9	2
	Turfa	8	2
	Argila agregada e/expansível	7	2
	Franco arenoso	6	2
	Franco	5	2
	Franco Silteoso	4	2
	Franco Argiloso	3	2
	Argila Orgânica	2	2
	Argila não agregada e não expansível	1	2
T- Topografia (declividade %)	0 - 2	10	2
	2 – 6	9	1
	6 – 12	5	1
	12 – 18	3	1
	>18	1	1
I - Influência da Zona Vadosa	Camada confinante	1	5
	Argila/ Silte	2 – 6	5
	Xisto Argiloso, argilito	2 – 5	5
	Rocha Metamórfica/ Ígnea	2 – 8	5
	Calcário	2 – 7	5
	Arenito	4 – 8	5
	Arenito, calcário e argilito estratificados	4 – 8	5
	Areia e balastro com %significativa de silte e argila	4 – 8	5
	Areia e Cascalho	6 – 9	5
	Basalto	2 – 10	5
	Calcário carsificado	8 – 10	5
C - Condutividade Hidráulica	0 - 4,1	1	3
	4,1 - 12,2	2	3
	12,2 - 28,5	4	3
	28,5 - 40,7	6	3
	40,7 - 81,5	8	3
	>81,5	10	3

O índice DRASTIC é estimado a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Índice DRASTIC: } Dn \times Dp + Rn \times Rp + An \times Ap + Sn \times Sp + Tn \times Tp + In \times Ip + Cn \times Cp$$

Onde:

n – Representa as notas, que variam de 1 a 10, atribuídas às classes de cada fator do método DRASTIC, criando assim índices que exprimem o potencial de contaminação. Fatores que possuem índices mais próximos de 10, são considerados mais sensíveis (ALVES *et al.*, 2009).

p – São os pesos atribuídos aos parâmetros (ALVES *et al.*, 2009).

Em termos qualitativos, a metodologia DRASTIC classifica a vulnerabilidade em classes como Baixa, Moderada, Alta ou Extrema, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Classes de Vulnerabilidade DRASTIC, Aller *et al* (1987).

Baixa	Moderada	Alta	Extrema
23 a 119	120 a 149	150 a 179	180 a 230

5.6 Metodologia AVI

Este método foi desenvolvido por Van Stempvoort *et al.* (1992) e estima um Índice de Vulnerabilidade de Aquífero baseando-se em dois parâmetros:

D – Espessura, medida em metros, de cada **camada** que se encontra acima da zona saturada do aquífero em questão (profundidade do nível d'água)

K – Condutividade hidráulica estimada em cada uma das n camadas presentes no sistema, medida em m/s.

Baseado nestes dois parâmetros calcula-se o parâmetro denominado de Resistência Hidráulica (C) a partir da soma entre as razões de ambos os parâmetros para cada uma das camadas existentes, seguindo a seguinte fórmula:

$$C = \sum_i^1 \frac{d_i}{Ki}$$

Onde:

C= Resistência Hidráulica dada pelo sistema de classificação AVI;

d= Espessura da camada;

K= Condutividade Hidráulica estimada em cada uma das camadas.

O resultado para a estimativa do índice de vulnerabilidade do aquífero, se dá, a partir da somatória dos valores de resistência hidráulica para cada camada existente no sistema.

O método AVI (STEMPVOORT *et al.*, 1992) não considera o fluxo lateral para o cálculo da resistência hidráulica, assim como porosidade e o teor de água existentes nos meios porosos. Sendo assim o que define a Resistência Hidráulica (C) é o tempo que a água gasta se deslocando no sentido vertical, através da zona não saturada do sistema e esta é apresentada em anos como mostrados na Tabela 5.

É importante ressaltar que este tempo estimado não corresponde a um tempo de trânsito, uma vez que não é considerado o gradiente hidráulico, processos de sorção, difusão, entre outros, que a água ou contaminante pode vir a sofrer (STEMPVOORT *et al.*, 1992)

O valor advindo do cálculo da Resistência Hidráulica (C) é classificado conforme dados abaixo (Tabela 5):

Tabela 5- Classes de Vulnerabilidade pelo método AVI

Vulnerabilidade	Resistência Hidráulica (C, em anos)	Log C
Extremamente Baixa	>10000	>4
Baixa	1000 - 10000	3 - 4
Moderada	100 - 1000	2 - 3
Alta	10 - 100	1 - 2
Extremamente Alta	0 - 10	<1

5.7 Metodologia AVI Reclassificado

Esta metodologia, proposta por Vieira (2019), tem o propósito de promover um maior detalhamento e melhor visualização na apresentação dos resultados estimados pelo método AVI para a Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros. Para isso, fez-se necessária a reelaboração dos intervalos entre as classes de resistência hidráulica da metodologia convencional, assumindo intervalos

menores e tornando-se possível classificar as vulnerabilidades de maneira mais heterogênea e bem distribuída em toda extensão da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros.

As Classes de Vulnerabilidade do AVI Reclassificado estão representadas na tabela 6.

Tabela 6 – Classes de Vulnerabilidade AVI Reclassificado (VIEIRA, 2019)

Classe	Resistência Hidráulica (ano)
A1	Menos de 1
A2	Entre 1 e 2
A3	Mais de 2 anos

5.8 Comparação entre os métodos utilizados

Devido cada ambiente possuir suas próprias características hidrogeológicas e graus de complexidade distintos, os diferentes métodos de avaliação da vulnerabilidade geram resultados relativos para cada tipo de aquífero e/ou para cada tipo de ambiente.

Com isso, a classificação realizada de maneira universal e absoluta é algo bastante utópico e de difícil realização (HIRATA, 2001), porém, em determinados casos, levando em consideração a escala do trabalho realizado, a geologia local, além da resolução de alcance de cada metodologia, alguns modelos podem apresentar correlação no que se diz respeito aos resultados de vulnerabilidade de aquíferos obtidos (SOUSA, 2016).

Ao comparar os resultados obtidos através da aplicação das diferentes metodologias, GOD, DRASTIC, AVI e AVI Reclassificado, tornou-se possível descrever e avaliar de maneira qualitativa o comportamento da vulnerabilidade estimada para a área da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, observando qual dos quatro métodos apresentou de maneira mais pormenorizada seus resultados de vulnerabilidade, ou seja, qual descreveu de maneira mais assertiva o comportamento desta variável, fugindo de resultados generalizados e pouco minuciosos.

5.9 Valores estabelecidos aos Parâmetros da Metodologia GOD

Para a aplicação da estimativa da vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros pela metodologia GOD fez-se necessária a ponderação de diferentes critérios a fim de encontrar o valor de índice mais cabível e representativo para cada um dos parâmetros que compõe este método, conforme figura 6.

Para a Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, o parâmetro **(G)** que consiste no grau de confinamento da água subterrânea, este aquífero apresenta caráter livre, podendo ser semi-livre coberto por solo, rocha alterada ou formação sedimentar (VIEIRA, 2019). Por possuir capacidade de armazenamento de água em poros ou nas fissuras de sua estrutura rochosa, classificou-se o aquífero como **não confinado – coberto**, fazendo o uso do índice 0,6 para este parâmetro.

Já para o parâmetro **(O)** relativo à Ocorrência de Estratos de Cobertura, fez-se necessário o estudo e interpretação de dados da geologia do local. A Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, possui formações geológicas do período Pré-Cambriano, denominadas Escudos Cristalinos. Estas formações são representadas por rochas cristalinas metamórficas e magmáticas consolidadas e compactas, podendo haver ocorrência de fraturas. Esta classe geológica, baseado na proposta de Foster e Hirata (1988). recebeu nota de 0,6.

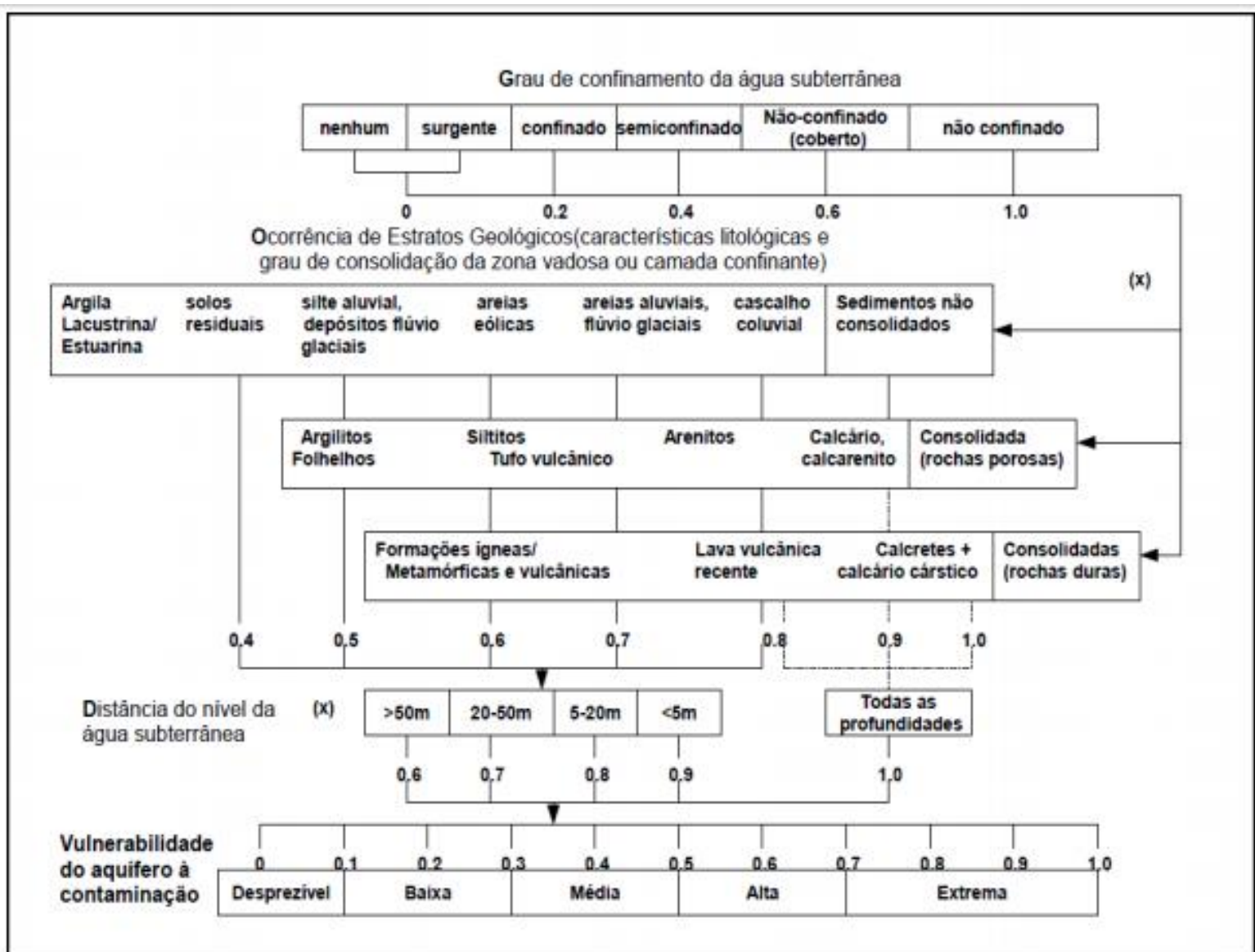


Figura 6 - Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade aquífera (RIBEIRO *et al.* 2020).

A área de estudo possui, também formações geológicas sedimentares do período Cenozóico (Terciário e Quaternário), sendo o Terciário caracterizados por rochas sedimentares, como arenitos e argilitos, atribuindo a esta classificação geológica a nota 0,7, segundo a metodologia proposta por Foster e Hirata (1988).

Para o Período Quaternário caracterizado por formação sedimentar não consolidada com presença de arenitos que se intercalam com lamitos, além de leques aluviais (GURGUEIRA, 2013), foi atribuído a nota 0,8, baseando-se na metodologia proposta por Foster e Hirata (1988).

É importante lembrar que para atribuição dos índices neste parâmetro do método GOD, foi levado em consideração as classes que mais se aproximavam, em

termos de características, das definições de cada um dos períodos geológicos que compõem a área de estudo.

Para o parâmetro **(D)** que diz respeito à distância até o lençol freático (profundidade do nível d'água), foi elaborado um mapa de interpolação entre os dados potenciométricos do local, conforme procedimentos apresentados em Tanajura (2014). Segundo Foster e Hirata (1988), a variação da profundidade do lençol freático recebeu índices pré-estabelecidos, levando em consideração que índices maiores foram associados com ocorrência as menores profundidades, já que representam uma maior vulnerabilidade de contaminação nestas circunstâncias (VIEIRA, 2019).

A síntese dos valores atribuídos nesta metodologia para a Bacia Urbana do Ribeirão dos Couros apresenta-se na tabela 7.

Tabela 7- Valores atribuídos aos índices G, O e D considerando as características da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros.

Tipo de Aquífero (G)	Valor Atribuído	Ocorrência de Estratos de Cobertura (O)	Valor Atribuído	Distância até o nível da água (D)	Valor Atribuído
Aquífero Não Confinado - Coberto	0,6	Período Pré- Cambriano	0,6	> 50m	0,6
		Período Cenozóico Terciário-Quaternário	0,7	20m - 50m	0,7
		Período Quaternário	0,8	20m-5m	0,8
				<5m	0,9

5.9.1 Valores estabelecidos aos Parâmetros da Metodologia DRASTIC

Para a produção do mapa de vulnerabilidade pela metodologia DRASTIC (Aller *et al.* 1987) fez necessária o estudo e compreensão como e quanto cada um dos sete parâmetros utilizados na metodologia influenciam no comportamento da vulnerabilidade do aquífero da área de interesse.

O primeiro parâmetro da metodologia DRASTIC é a distância até o nível da água **(D)** (ANEXO B), e os valores atribuídos (Tabela 8) seguiram o pressuposto de que menores profundidades do nível d'água correspondem a maiores pesos na estimativa da vulnerabilidade (Aller *et al.*, 1987)

Tabela 8- Valores atribuídos ao parâmetro D da metodologia DRASTIC

Parâmetro	Classes	Índice	Peso (Padrão)
D - Profundidade do nível d'água (m)	0 - 1,5	10	5
	1,4 - 4,6	9	5
	4,6 - 9,1	7	5
	9,1 - 15,2	5	5
	15,2 - 22,9	3	5
	22,9 - 30,5	2	5
	> 30,5	1	5

O parâmetro Recarga (**R**), para a bacia hidrográfica do Ribeirão dos Couros foi obtido segundo a metodologia desenvolvida pelo DAEE (Liazi *et al.*, 1988) disponibilizada na internet (<http://sibh.daee.sp.gov.br/>). O valor de recarga estimado foi 187,32 mm/ano (Tabela 9) para toda a bacia e levou-se em consideração que tal valor é igual ao volume de água correspondente a vazão da bacia com 95% de permanência (Liazi *et al.*, 1988)

Tabela 9- Valores atribuídos ao parâmetro R da metodologia DRASTIC

R - Recarga (mm/ano)	Classes	Índice	Peso (Padrão)
187,32	178-254	8	4

O parâmetro (**A**) considera o material do aquífero, ou seja, como as características do material que compõem a estrutura da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, influenciam na estimativa da vulnerabilidade. Para isso, foram utilizadas as características da geologia do local que consiste no Sistema Aquífero Cristalino (SAC) e Sistema Aquífero Sedimentar (SAS), As particularidades das características geológicas ditaram, então, os índices mais cabíveis para cada uma delas, levando em consideração as classes propostas pela metodologia. Os índices selecionados foram, 4, 6 e 8, para, respectivamente SAC, Terciário e Quaternário, como segue representado na Tabela 10.

Tabela 10- Valores atribuídos ao parâmetro A da metodologia DRASTIC

A- Material do Aquífero	Classes	Índice	Peso (Padrão)
Sistema Aquífero Cristalino (SAC)	Rocha Metamórfica/ Ígnea Alterada	4	3
Cenozóico-Terciário (SAS)	Arenito e Argilito Estratificado	6	3
Cenozóico-Quaternário (SAS)	Areias e Cascalho	8	3

Em relação ao parâmetro **(S)** relativo ao tipo de solo que compõe a cobertura da área de estudo, foi atribuído o índice 5 (Tabela 11) seguindo critérios como textura e composição do solo.

Tabela 11- Valores atribuídos ao parâmetro S da metodologia DRASTIC

S- Tipo de Solo	Classes	Índice	Peso (Padrão)
Argissolos Vermelho-Amarelos Distroficos + Argissolos Vermelhos Eutroficos + Latossolos Vermelho-Amarelos Distroficos	Franco	5	2

O parâmetro **(T)** que representa a declividade (ANEXO C) do terreno os índices utilizados seguiram o pressuposto de que maiores declividades implicam em maior escoamento superficial e consequentemente menores taxas de infiltração, ou seja, menores chances de um contaminante adentrar no sistema atingindo e contaminando as águas subterrâneas. Situação oposta ocorre quando o terreno possui menores declividades, implicando em menor taxa de escoamento, e maiores probabilidades do contaminante atingir a zona saturada do aquífero, uma vez que, a infiltração (fluxo vertical) ocorre em maiores volumes. Índices maiores foram

aplicados às áreas com menores declividades, e índices menores foram atribuídos às áreas com maiores declividades (Tabela 12).

Tabela 12- Valores atribuídos ao parâmetro T da metodologia DRASTIC

T- Topografia (%)	Índice	Peso (Padrão)
0 - 2	10	1
2 - 6	9	1
6 - 12	5	1
12 - 18	3	1
> 18	1	1

A influência da zona vadosa, denominado índice **(I)** da metodologia DRASTIC exprime a relação que existe entre as características da litologia do terreno com a estimativa da vulnerabilidade de um local, uma vez que determinados compostos constituintes da litologia do meio, quando interagem com um contaminante ditam seu comportamento, como por exemplo, se ficará retido no meio, se o tal contaminante sofrerá biodegradação, ou até mesmo se sofrerá transformações biogeoquímicas, reações químicas, ou como se dispersará, dependendo da estrutura litológica, entre outros processos.

Considerando que as unidades aquíferas da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros são Sistema Aquífero Cristalino (SAC) – Domínio de rochas cristalinas e Sistema Aquífero Sedimentar (SAS) – Domínio de rochas sedimentares, ambas possuem estrutura compatíveis à infiltração de água no meio. Os valores atribuídos para este parâmetro foram, 5 e 7 (Tabela 13).

Tabela 13- Valores atribuídos ao parâmetro I da metodologia DRASTIC

I- Influência da Zona Vadosa	Classes	Índice	Peso (Padrão)
Sistema Aquífero Cristalino	Rocha Metamórfica/ Ígnea	5	5
Sistema Aquífero Sedimentar	Arenito, Argilito Estratificado	7	5

A condutividade hidráulica, expressa nesta metodologia como a letra **(C)** possui valores que variam entre 0,005 m/dia a 2,42 m/dia, onde os menores valores se encontram em regiões associadas a presença de rochas e solos argilosos, já os maiores valores estão associados a presença de solos formados por siltes e areias. Todos os valores obtidos se enquadram na classe de valores entre 0 e 4,1 m/dia, atribuindo assim o índice 1 (Tabela 14).

Tabela 14- Valores atribuídos ao parâmetro C da metodologia DRASTIC

C- Condutividade Hidráulica (m/dia)	Classes	Índice	Peso (Padrão)
0,005 a 2,42	0 – 4,1 (m/dia)	1	3

5.9.2 Valores estabelecidos aos Parâmetros da Metodologia AVI

A metodologia AVI estima a vulnerabilidade de um aquífero levando em consideração a resistência hidráulica (C), já que o método propõe a quantificação da espessura das camadas que compõem a bacia, além da condutividade hidráulica.

Na área da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, para a estimativa da vulnerabilidade, considerou apenas uma única camada de solo, que possui valores de profundidade do nível d'água variando de 0 a 30 m. Estimativas do valor de condutividade hidráulica estimado para o local resultou entre 0,005 m/dia e 2,42 m/dia. A síntese dos valores atribuídos nesta metodologia para a Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros apresenta-se na Tabela 15.

Tabela 15- Valores atribuídos método ao AVI considerando as características da Bacia do Ribeirão dos Couros.

Método AVI	Valores
Profundidade nível d'água (C)	0 - 30 m
Condutividade Hidráulica (K)	0,005 - 2,42 m/dia

5.9.3 Valores estabelecidos aos Parâmetros da Metodologia AVI Reclassificado

Os valores utilizados na Metodologia AVI Reclassificado são os mesmos utilizados na AVI, apresentados no item anterior. A diferença entre os dois métodos consiste na categorização das classes de Resistência Hidráulica, como citados no item 5.7 do atual trabalho.

6. Apresentação e análise dos resultados

6.1 Índice GOD

O mapa gerado para a Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros pela metodologia GOD apresentou classes de vulnerabilidade, variando entre vulnerabilidade baixa e média. A vulnerabilidade predominante foi a baixa, representado por aproximadamente 65% da área, enquanto a vulnerabilidade média ocupa 35% da área (Figura 7).

Não foram identificadas as classes de vulnerabilidade negligenciável, alta e extrema. A classe de vulnerabilidade classificada como baixa se distribui por toda bacia, exceto na região leste, que apresenta vulnerabilidades médias. É perceptível que vulnerabilidades médias, em sua maioria, estão associadas à proximidade dos corpos hídricos, indo desde as nascentes até a foz do Ribeirão dos Couros (rio principal).

6.2 Índice DRASTIC

O mapa de vulnerabilidade gerado pela metodologia DRASTIC para a Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros apresentou resultados de vulnerabilidade que variaram entre baixa, 47% da área, moderada em 42% da área e alta correspondendo a 11% da área (Figura 8). Vulnerabilidades Muito Alta, segundo a metodologia DRASTIC, não foram encontradas. Os resultados obtidos se encontram distribuídos de maneira bastante heterogênea em toda extensão da bacia, e isso vale principalmente para a classe de vulnerabilidade baixa, que

abrange desde a região noroeste, passa pela oeste, sudoeste e se estende até a região sudeste da área, além de aparecer em alguns pontos isolados.

Já as vulnerabilidades com valores intermediários se encontram predominantemente na região central e se estendem desde o norte da bacia, até o sudeste da mesma. Estas vulnerabilidades moderadas se associam às regiões próximas aos corpos hídricos presentes na região, acompanhando desde a nascente até sua foz. O local que se apresenta mais vulnerável segundo a metodologia DRASTIC se encontra na região nordeste da bacia, abrangendo grande extensão do Ribeirão dos Couros, no sentido a sua foz.

6.3 Índice AVI

Segundo Vieira (2019), os resultados obtidos através da geração do mapa de vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, pela metodologia AVI, traduzem que o local possui valores de vulnerabilidade classificados entre extremamente alto e alto. A área obteve predominância de vulnerabilidades extremamente altas, traduzindo-se em 94% da área. Apenas 6% da área apresentou valores de vulnerabilidade classificada como alta. Esta minoria, por sua vez, encontra-se localizada na região sul da bacia, como apresentado na Figura 9.

6.4 Índice AVI Reclassificado

Pela metodologia AVI Reclassificado é perceptível que as menores vulnerabilidades, e subsequentes menores condutividades hidráulica se localizam, em sua maioria, ao sul da bacia. Já as maiores vulnerabilidades, sendo esta classificação a dominante na área de estudo, encontram-se majoritariamente na região mais centralizada da bacia, atingindo, também, a região norte (Figura 10).

Pode-se dizer que a área apresentou variabilidade de vulnerabilidades indo desde extremamente alta a vulnerabilidade alta, porém com a mudança na classificação, apresentaram uma visualização mais detalhada. As vulnerabilidades da classe A1 representam 66 %, as de classe A2 se traduzem em 17,5 %, e a classe A3 consistem em 16,5 % do local (VIEIRA, 2019).

MAPA DE VULNERABILIDADE - GOD

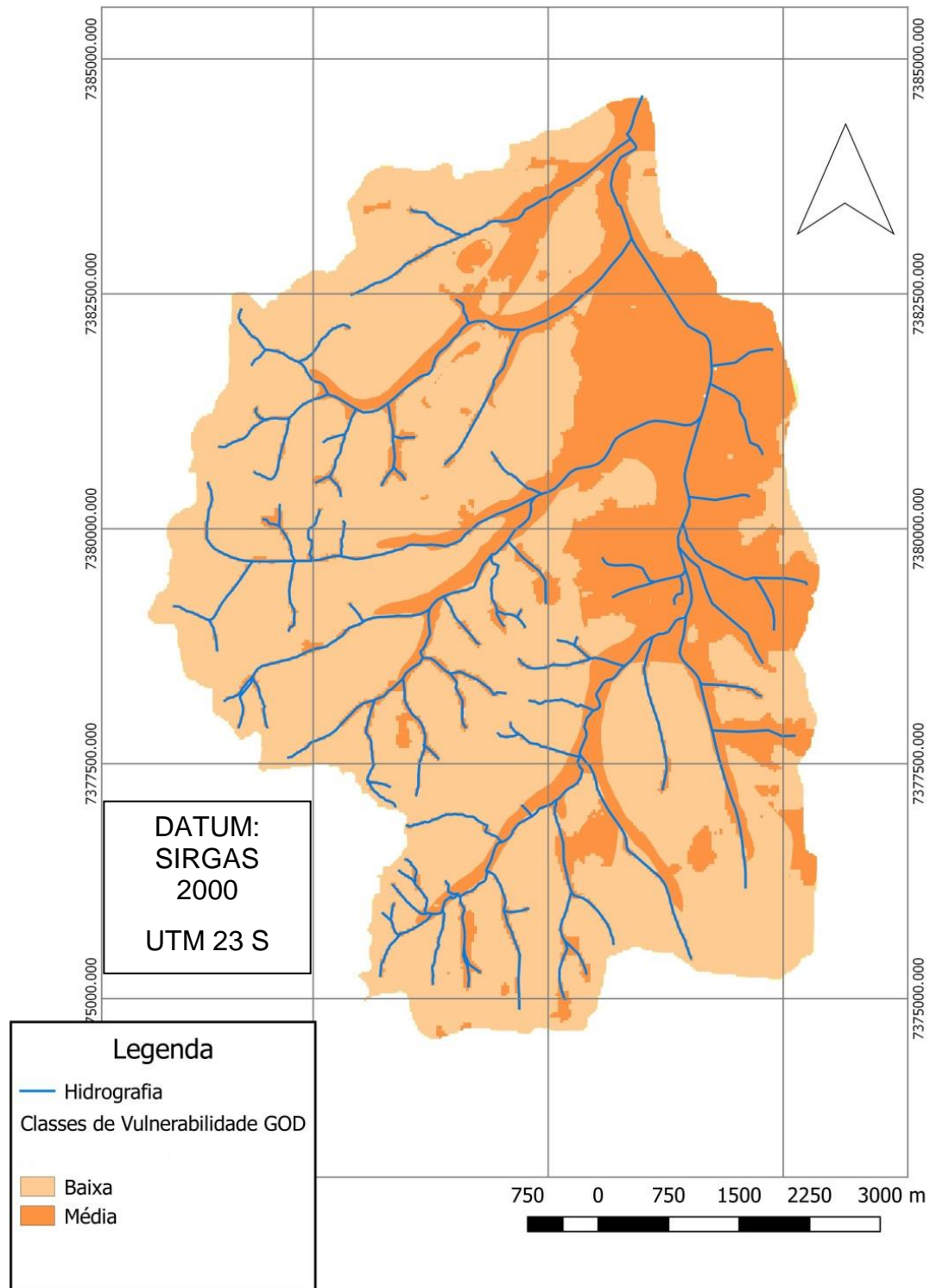


Figura 7 – Mapa de Vulnerabilidade elaborado pelo método GOD.

Mapa Vulnerabilidade - DRASTIC

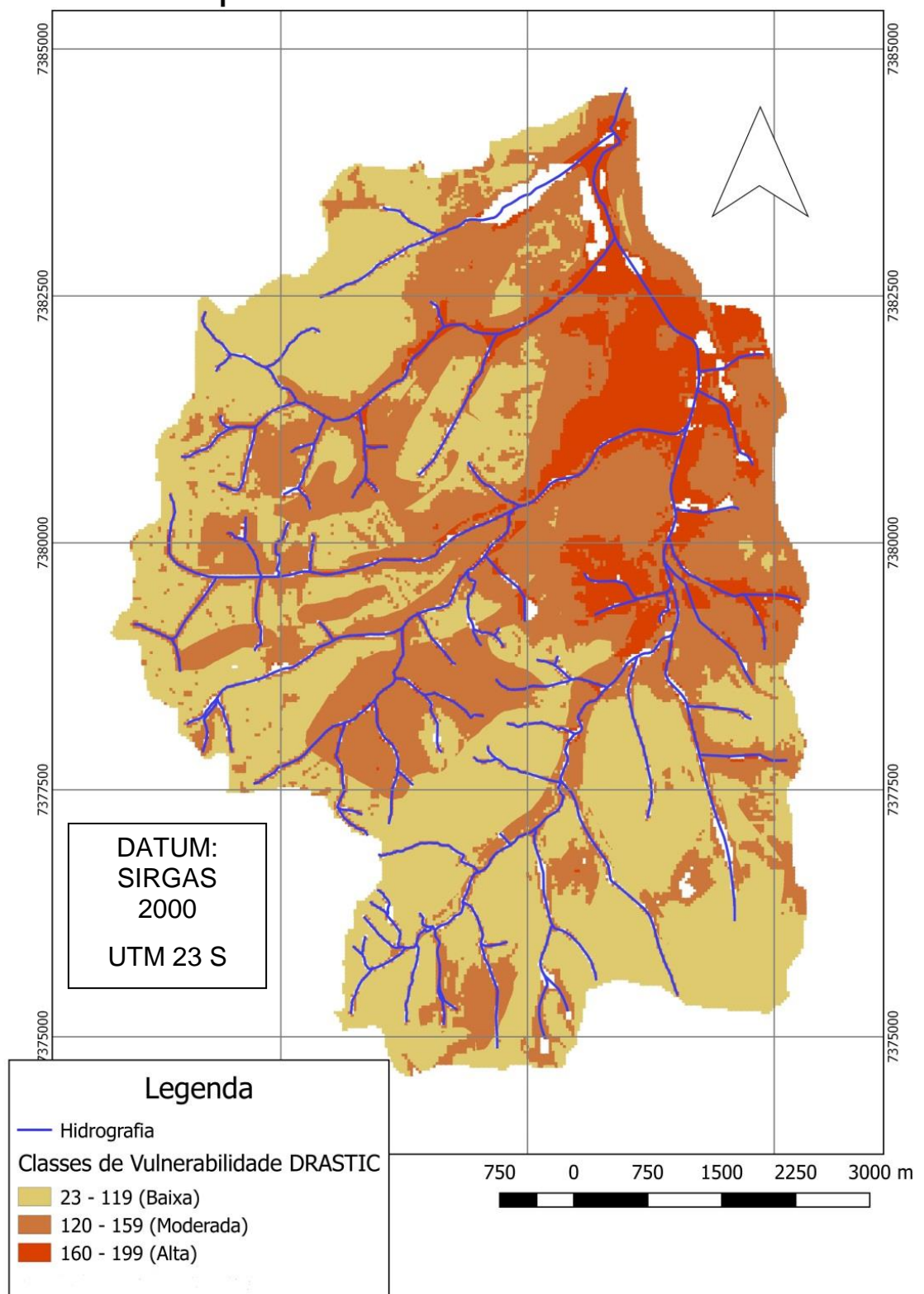
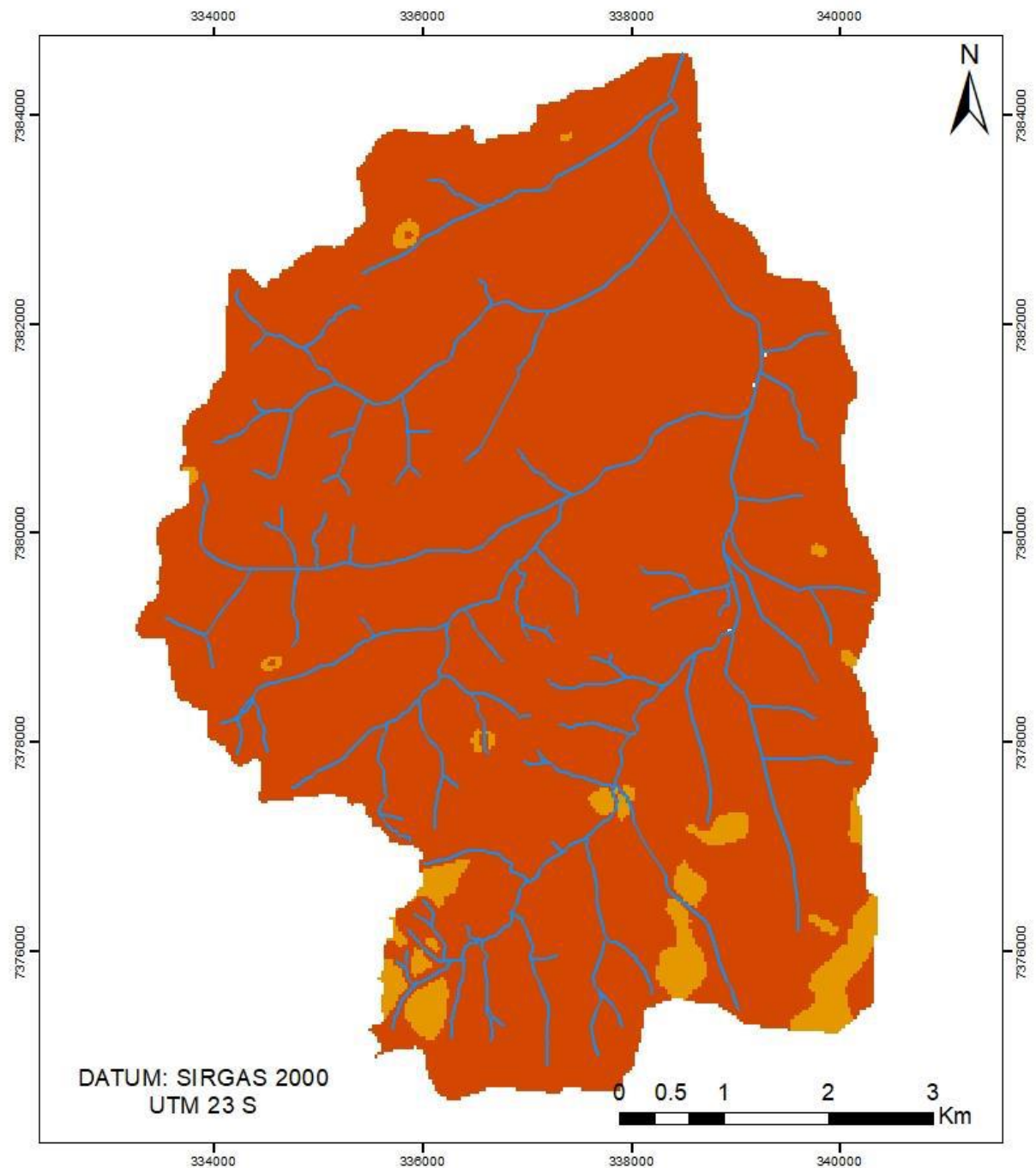


Figura 8 – Mapa de Vulnerabilidade elaborado pelo método DRASTIC.



Legenda

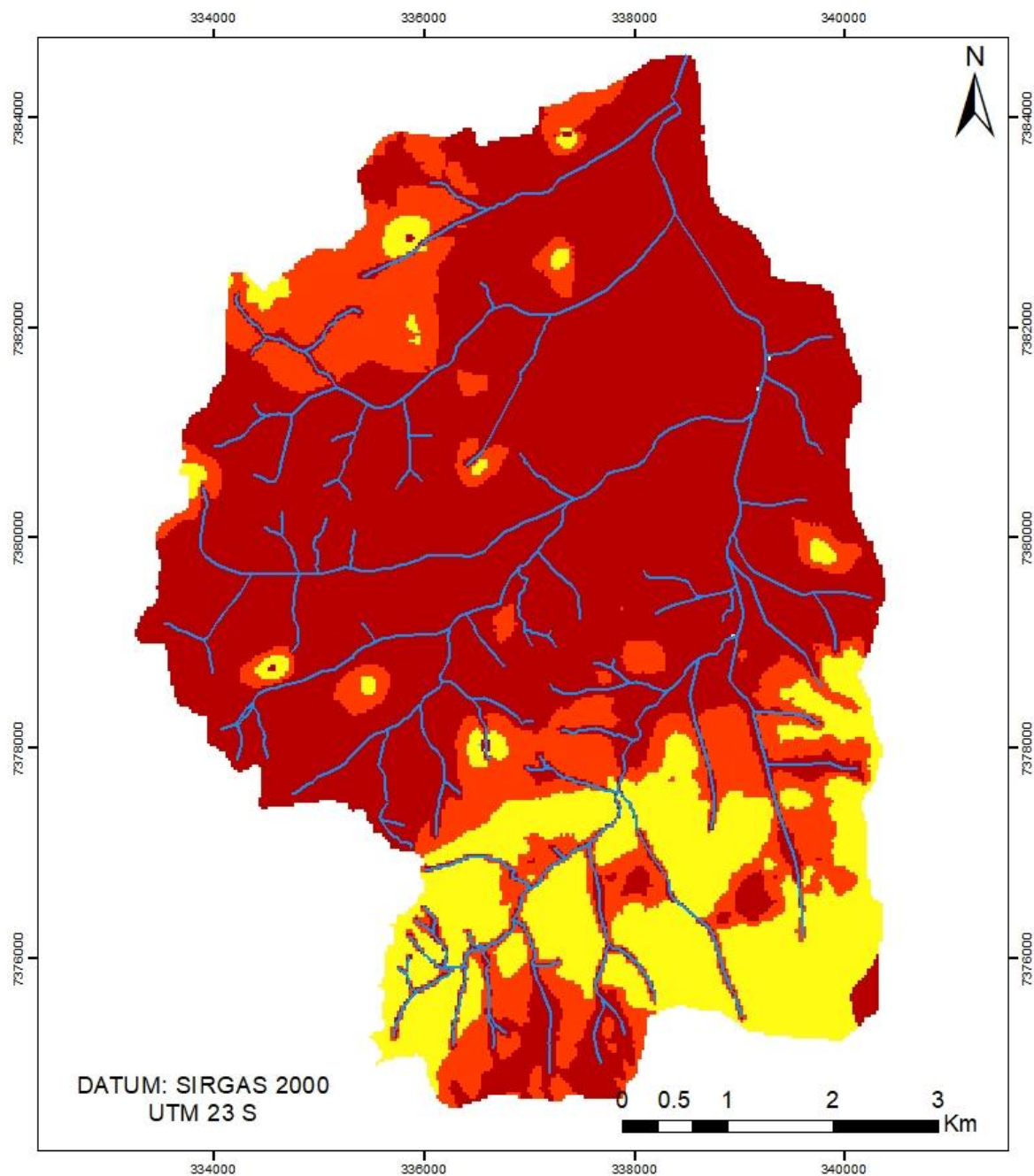
— Hidrografia

Vulnerabilidade AVI - Resistência Hidráulica (C)

Extremamente Alta - Até 10

Alta 10 - 100 anos

Figura 9 – Mapa da Vulnerabilidade elaborado pelo AVI Fonte: VIEIRA, 2019.



Legenda

— Hidrografia

AVI Reclassificado (anos)

■ A1: < 1

■ A2: 1 - 2

■ A3: > 2

Figura 10 – Mapa de Vulnerabilidade elaborado pelo método AVI Reclassificado. Fonte: VIEIRA, 2019.

7. Discussão

A região com predominância de vulnerabilidade classificada como baixa, pela metodologia GOD, apresenta associação com unidades aquíferas cristalinas. Nesta mesma área, os níveis d'água apresentam significativa variância, possuindo maior domínio de profundidades maiores que 50m, como também profundidades na classe de 20 a 50m. Em relação as áreas que possuem vulnerabilidades classificadas, segundo a mesma metodologia, como média, são áreas correlacionáveis com as unidades aquíferas do período Terciário e Quaternário. Tais formações geológicas compreendem arenitos intercalados, com areias e cascalhos (EMPLASA, 1979). As vulnerabilidades médias predominam em áreas com menores profundidades, variando de 5 a 20m de profundidade, e em algumas áreas mais pontuais, podendo chegar a profundidades menores do que 5m.

O parâmetro **G**, que corresponde ao grau de confinamento do aquífero se comportou de maneira uniforme por toda extensão da bacia, uma vez que este aquífero, em sua totalidade, classifica-se como não confinado-coberto. Dessa maneira, os dois diferentes resultados gerados através da metodologia GOD não foram influenciados significativamente por esse parâmetro. Apesar da pequena influência neste quesito, o índice G possui importante papel na geração de índices de vulnerabilidade maiores, uma vez que, um aquífero não confinado, possui maior permeabilidade, e suscetibilidade de um contaminante o atingir, quando comparado um aquífero confinado, por exemplo.

Os estratos de cobertura do local, representados pelo parâmetro **O** da metodologia, levou em consideração dados da geologia local a fim de interpretar as características da litologia da bacia, podendo identificar que o parâmetro "O" é bastante influente para a determinação das diferentes classes de vulnerabilidades encontradas. Regiões com domínio sedimentar geraram resultados maiores de vulnerabilidade, e regiões com domínios litológicos menos impermeáveis e porosos, por consequência, geraram resultados de menores vulnerabilidades.

O índice **D** - profundidade do lençol freático, em relação a estimativa da vulnerabilidade, na região de estudo, exerce significativa influência, dada a variabilidade deste parâmetro na área.

Quando se trata de uma área com limitação de informações hidrogeológicas, a utilização da metodologia GOD, por ser uma metodologia simples, é uma opção bastante promissora na estimativa da vulnerabilidade uma vez que considera os parâmetros mais importantes e comuns, como profundidade do lençol freático, litologias de zona vadosa e de camadas confinantes em condição de aquífero. Outra característica positiva da aplicação da metodologia GOD é que esta é a única que diferencia um aquífero livre de um confinado. Porém uma de suas desvantagens é que não considera a recarga em seus cálculos, diferentemente do método DRASTIC.

O método DRASTIC identificou as regiões com valores de vulnerabilidade classificados como baixa, onde a profundidade do nível d'água é superior a 30 m. Somado a esta informação, as regiões possuem, também, litológica composta por rochas metamórficas e ígneas alteradas, evidenciando uma menor porosidade e menores chances de percolação de contaminantes por meio da infiltração (recarga).

Na região há predominância de declividades mais amenas, na classe de 0 a 6%, fugindo um pouco a regra, uma vez que o que se espera para zonas menos vulneráveis são terrenos mais íngremes, favorecendo maiores ocorrências de escoamentos superficiais e menores chances de infiltrações (fluxos verticais) no sistema (VIEIRA, 2015).

As Vulnerabilidades classificadas como moderada se localizam predominantemente em áreas que possuem nível d'água entre 9 e 30,5 m de profundidade, evidenciando que nestas regiões as profundidades são menores ao comparar com as regiões de baixa vulnerabilidade. Tal fato é explicado a partir do entendimento de que menores profundidades de nível d'água resultam em maiores suscetibilidades a contaminação de um aquífero já que a profundidade do lençol freático é menor, diminuindo o percurso do contaminante no meio e fazendo com que este atinja o lençol freático mais rapidamente, diminuindo, também, a probabilidade de ocorrência de possíveis reações biogeoquímicas, como atenuação e adsorção, que podem ocorrer na interação entre contaminante e composição litológica local.

Em relação a geologia, a região com predominância de vulnerabilidades moderadas é constituída principalmente por arenitos e argilitos estratificados,

formadores do sistema aquífero sedimentar. Estas características possibilitam maior facilidade de introdução de contaminante no sistema, uma vez que a litologia facilita a ocorrência de percolação do contaminante já que a porosidade, somada à permeabilidade é consideravelmente maior nesta região.

O parâmetro topografia, assim como nas vulnerabilidades baixas, não foi algo determinante na quantificação da classe de vulnerabilidade gerada, isso porque, nesta região as declividades predominantes estão entre 6 e 12 % de inclinação do terreno, com algumas variações pontuais para terrenos mais e menos inclinados. Este resultado acaba por evidenciar que, comparado com as regiões com predomínio de baixas vulnerabilidades, o local é consideravelmente mais íngreme, favorecendo uma menor infiltração, e predomínio de fluxos superficiais (VIEIRA, 2015), sendo este um fator que não justifica a ocorrência de maiores vulnerabilidades neste local da bacia.

Ainda sobre o método DRASTIC, as vulnerabilidades classificadas como Alta, se encontram em menores proporções e de maneira mais pontual na bacia. Tal condição é justificada pela predominância de fatores que propiciam este cenário, tais como: menores profundidades do nível d'água, variando entre 9 m e 1,5 m de profundidade, sendo estes os menores valores encontrados na área da Bacia do Ribeirão dos Couros, além da litologia ser composta por areias e cascalhos, característica que favorece alta permeabilidade uma vez que esta granulometria propicia alto valor permeabilidade e baixa capacidade de retenção, sendo uma facilitação para que contaminantes consigam percolar até atingir o nível do lençol freático, contaminando-o (VIEIRA, 2015). Em contrapartida, a declividade não foi determinante para a obtenção desta classe de vulnerabilidade, isso porque a região com altas vulnerabilidades é marcada por possuir as maiores declividades na bacia.

É importante ressaltar que, dentre os sete parâmetros considerados para a estimativa de vulnerabilidade a partir da metodologia DRASTIC, a recarga (R) e o tipo de solo (S) da bacia exerceram influência constante em toda extensão da área de interesse, ou seja ambos os parâmetros não sofrem variações importantes e dessa maneira são pouco determinantes nas diferentes classes de vulnerabilidade.

A condutividade Hidráulica (C) mesmo variando entre 0,005 m/dia a 2,42 m/dia, se enquadrou na mesma classe segundo a metodologia DRASTIC. Desta maneira, os índices atribuídos para estes dois valores de condutividade foi o mesmo (1), fazendo com que o parâmetro obtivesse uma influência pouco significativa da determinação das diferentes classes de vulnerabilidade encontradas na Bacia do Ribeirão dos Couros.

O parâmetro (I), que representa a Influência da Zona Vadosa considerou a litologia do local a partir das unidades aquíferas ali presentes e suas influências na estimativa da vulnerabilidade foram semelhantes às influências exercidas pelo parâmetro (A) Material do aquífero, diferenciando-se apenas nos índices atribuídos para cada um, seguindo o pressuposto da metodologia.

A profundidade do nível d'água (D) e o material do aquífero (A) são os parâmetros mais influentes nos resultados de vulnerabilidade obtidos por toda área da bacia, ditando desta maneira as diferenças de maiores e menores chances de um contaminante atingir o lençol freático.

Em relação as características litológicas do local, expressas através da geologia, fez-se possível mensurar como a região de interesse reage em relação a facilitação ou não da ocorrência de potenciais contaminações, já que ocorre diferenciação litológica de região para região, dentro da própria Bacia do Ribeirão dos Couros. O mesmo não ocorreu com a pedologia nesta mesma área já que influenciou de maneira constante em toda extensão da bacia.

É bastante relevante lembrar que a escolha pela aplicação do método DRASTIC padrão apenas, descartando a aplicação do método DRASTIC pesticida, utilizado normalmente em regiões com prevalência de atividades agrícolas, se deve ao fato que a região é predominantemente urbanizada, com esparsas ocorrências de atividades agrícolas.

O grau de detalhamento dos resultados obtidos a partir da execução do método DRASTIC é um ponto bastante positivo ao comparar com a metodologia GOD e AVI. Isso se deve a quantidade de informações para compor os parâmetros que constituem sua fórmula. Por utilizar 7 diferentes parâmetros sobre a área de interesse, o resultado gerado é bastante detalhado, dando abertura para várias análises e conclusões. Resultados com amplo grau de detalhamento, como os gerados através da metodologia DRASTIC é preferível pois permite um melhor

conhecimento da área de interesse, possibilitando, também, uma melhor compreensão do comportamento de um contaminante no meio (VIEIRA, 2019).

A metodologia AVI expressou resultados de vulnerabilidade classificados como Extremamente Alta e Alta. Vulnerabilidade extremamente alta foi a que predominou em toda a área, exceto na região sul, onde apareceram, de maneira pontual, vulnerabilidades altas. A vulnerabilidade classificada como Extremamente Alta expressa, segundo os pressupostos da metodologia, são áreas em que o contaminante atinge os níveis do lençol freático em um período menor do que 10 anos, uma vez que a condutividade hidráulica é definida na ordem de 10^{-1} m/dia e nível d'água variando de 0 a 30 m. Já a região que possui vulnerabilidade classificada como alta, traduz que aquela área terá contaminação do lençol freático em um período que pode variar de 10 a 100 anos, possuindo uma condutividade hidráulica de menor ordem, sendo 10^{-3} m/dia e nível d'água com valores maiores que 30 m (VIEIRA, 2019).

Apesar da área da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros possuir variabilidade de valores de condutividade hidráulica, como apresentado na Figura 5, a estimativa da vulnerabilidade pelo método AVI se demonstra bastante generalizada. Por outro lado, mesmo este método fazendo uso de apenas dois parâmetros para sua execução, os resultados obtidos são bastante assertivos devido a utilização da condutividade hidráulica, sendo este um conceito que carrega consigo a representação de outras três informações essenciais para a geração de bons resultados de vulnerabilidade, tais como o tipo de aquífero, a influência da zona vadosa, e o tipo de solo, fatores estes que influenciam diretamente a ocorrência de uma maior ou menor vulnerabilidade (VIEIRA, 2019).

Em relação a metodologia AVI Reclassificado, as áreas categorizadas como A1 são áreas que possuem condutividade hidráulica mais elevadas (0,14 m/dia) ao comparar com o restante da bacia, assim como possuem menores profundidades do nível d'água, variando de 0 a 15 m, fazendo com que resultasse em uma resistência hidráulica menor do que 120 dias, ou seja, o contaminante chegaria ao lençol freático em um período menor do que 120 dias. Tais áreas estão distribuídas nas regiões de várzea dos rios, assim como nas zonas de deflúvio (VIEIRA, 2019).

As regiões categorizadas como A2, possuem profundidades de nível d'água maiores do que 15 m, e condutividade hidráulica menor que 0,14 m/dia. Ou seja, esta categoria possui características mais amenas que a primeira categoria apresentada (A1). As zonas A2 se aglomeram, principalmente, nas em regiões entre as categorias A3 e A1, como também, no noroeste da bacia. A resistência hidráulica desta categoria varia de 360 a 1200 dias (VIEIRA, 2019).

As regiões, A3, que possuem, por sua vez, menores vulnerabilidades, se concentram principalmente na região sul da bacia e representam apenas 16,5% da área. O nível d'água destas regiões são mais profundos, ultrapassando o valor de 30 m, assim como a condutividade hidráulica que possui valores consideravelmente baixos ao se comparar com as outras duas categorias citadas acima (A1 e A2). Nesta região, o contaminante demoraria maior tempo para atingir o lençol freático, possuindo resistência hidráulica com valores acima de 1200 dias.

Além disso, podem-se associar os resultados de menores vulnerabilidades com a ocorrência de menores porosidades e permeabilidades do solo, característicos de uma região que possui predominância granulométrica composta por silte e argila, questão esta que acarreta em uma diminuição no potencial poluidor, uma vez que somado a uma menor condutividade hidráulica (maior tempo de trânsito no meio), o contaminante estará mais suscetível a sofrer reações de biodegradação, sorção, oxidação, entre outros processos, devido a ocorrência de maiores superfícies de contato.

Enquanto isso, as maiores vulnerabilidades estão associadas a ocorrência de maiores condutividades hidráulicas (menor tempo de trânsito no meio) somada com menores profundidades entre a superfície e nível d'água do aquífero, gerando consequentemente um ambiente facilitador para que o contaminante atinja as águas subterrâneas, já que, devido a esta facilitação e menor tempo de trânsito no meio, o contaminante possui menores chances de sofrer processos de atenuação, e gerar um caráter menos poluidor (Steempvoort, 1982).

É importante ressaltar que o método AVI considera a condutividade hidráulica em relação as áreas com predomínio de fluxos verticais na zona não saturada, sendo assim, esta metodologia dá a devida atenção ao evento de infiltração que o contaminante pode vir a sofrer no meio (VIEIRA, 2019). Esta questão é bastante positiva em relação a aplicação do método, já que a zona não saturada possui

grande influência no comportamento do contaminante, devido a ativa atividade biológica existente nesta região. Concomitantemente, soma-se a influência da granulometria do local, que dita como o contaminante irá se deslocar até o lençol freático, podendo variar se este deslocamento ocorrerá de maneira facilitada, ou até mesmo se o mesmo não ocorrerá, se o cenário for limitado em relação a porosidade, havendo um predomínio de eventos de degradação físico-química e biológica (BURROUGH, 1993).

8. Conclusão

Cada um dos quatro métodos possui melhor aplicabilidade em situações particulares, ou seja, cada qual é mais adequado para um tipo de cenário. É possível dizer que para um local com carência de informações hidrogeológicas, a aplicabilidade de métodos mais genéricos, como o método GOD, é bastante positiva, já que demandam uma menor quantidade de dados. Por outro lado, em uma região mais desenvolvida, com grande disponibilidade de dados e informações, é viável a utilização de um método que exprime um mapa de vulnerabilidade mais detalhado, como o método DRASTIC, possibilitando assim a elaboração de um plano de gestão mais criterioso, visando propiciar a máxima conservação dos recursos da área de interesse.

Sendo assim, a particularidade de cada método dita como este irá apresentar seus resultados de vulnerabilidade e cada um deles é utilizado para diferentes objetivos, levando em consideração a escala do trabalho e os recursos disponíveis na região em que o método será executado.

Analisando os resultados obtidos da aplicação de cada um dos quatro métodos, GOD, DRASTIC, AVI e AVI Reclassificado, aplicados para a Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, o que apresentou maior detalhamento de resultados foi o mapa de vulnerabilidade DRASTIC, com valores de vulnerabilidade variando entre baixo, moderado e alto. A obtenção de um resultado mais detalhado pelo método DRASTIC é justificado pela quantidade de informações que exige para sua execução, gerando consequentemente um mapa mais assertivo e preciso em relação aos seus resultados.

É preferível a escolha deste tipo de método quando sua aplicação é feita em um local que possui disponibilidade de informações, enriquecendo também na previsão dos resultados, ditando de forma bastante realista a variabilidade de vulnerabilidades encontradas. Uma informação bastante relevante é a escolha, por meio da Comissão das Comunidades Europeias (1991) do método DRASTIC como sendo o método referência quando se trata de estudos referentes a estimativa da poluição dos lençóis freáticos Europeus, já que o DRASTIC fornece uma ampla gama de resultados, facilitando tomadas de decisão no que se diz respeito a gestão de recursos (LOBO-FERREIRA, 1998).

Enquanto isso, o método AVI, que estima a vulnerabilidade pelo tempo de trânsito do contaminante no meio, fazendo uso de apenas duas variáveis, obteve resultados bastante generalizados, com predomínio de vulnerabilidade extremamente alta, em quase 100% da área da bacia e uma pequena parte com vulnerabilidade alta. Somente após a reclassificação do método (AVI Reclassificado) proposta por VIEIRA (2019), foram obtidos resultados mais detalhados, já que as classes de resistência hidráulica foram reclassificadas em menores intervalos, reduzindo a generalização que ocorreu, a priori, com a aplicação do método AVI convencional.

Já o método GOD se mostrou ser um método simples, que gera resultados mais generalizados, sendo então, adequado em um cenário com poucas informações. Então, ao comparar com os três métodos citados acima, o método GOD é consideravelmente limitado, já que subestimou classes de vulnerabilidade alta e extremamente alta, encontradas por meio da aplicação do DRASTIC e AVI em determinadas áreas da Bacia em questão.

Sendo assim, quando aplicado na região da Bacia Urbana do Ribeirão dos Couros, o método mais adequado, já que exprimiu uma maior precisão e detalhamento em relação aos seus resultados, é o método DRASTIC, mostrando que, de fato, sua eficiência se dá em regiões que possuem grande disponibilidade de informações e estudos referentes a esse tema, como acontece na região do Estado de São Paulo.

9. Referências Bibliográficas

- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J. H. & PETTY, R. J. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. 1987. (U.S. EPA Report 600/2-85/018)
- ALVES, M. G.; RAMOS, I. S., CORIDOLA, R. Metodologia DRASTIC na análise da vulnerabilidade dos Aquíferos livres de Campos dos Goytacazes. *In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, P. 3433-3438.
- BARBOSA, M. B., CARVALHO, A. N., IKEMATSU, P., ALBUQUERQUE FILHO, J. L., CAVANI, A. C.; Avaliação do perigo de contaminação do sistema aquífero guarani em sua área de afloramento do estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. *Águas Subterrâneas*, v.25, n.1, p.1-14, 2011.
- BATISTA, C. S. P.; GESUALDO, G.C.; LEITE, P.C.C.; LASTORIA, G.; GABAS, S.G.; CAVAZZANA, G. H.; CASADEI, J. M.; AZOIA, T. S. Aplicação do Método GOD para avaliação de Vulnerabilidade de Aquífero Livre em Bacia Hidrográfica. *In: CONGRESSO BRASILEIRO XIX DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 2016. Mato Grosso do Sul: Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- BÓS, S. M., Mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do Município de Sananduva – RS. Passo Fundo, 2008.
- BURROUGH, P. A Soil Variability: A Late 20th Century View. *Soils and Fertilizers*, v. 56, p. 529 – 562, 1993.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Lista de áreas contaminadas ano base 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/> Acesso em: 02 mar. 2020.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Águas subterrâneas: Importância. São Paulo, 28 de fev. de 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/>>. Acesso em: 28 de fev. 2020.
- COUTINHO, J. M. V.; EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO - EMPLASA; SECRETARIA DOS NEGÓCIOS

METROPOLITANOS. Carta geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo, 1:50000. São Paulo, Emplasa, 1980.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Usos dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (online). Disponível em: <<http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usuarios/daeeusuariosDpo.asp>> Acesso em: Setembro, 2018.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Águas subterrâneas no Estado de São Paulo, 2013. Diretrizes de Utilização e Proteção / Departamento de Águas e Energia Elétrica, Instituto Geociências e Ciências Exatas. Laboratório de Estudo de Bacias. - São Paulo.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA SOLOS, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª edição Revista e Ampliada. Brasília, (DF), 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA SOLOS, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (EMBRAPA). O Novo Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro, 2011.

EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO S.A. - EMPLASA. Levantamento Aerofotométrico. Escala: 1:10000, 1979.

EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO S.A. - EMPLASA. Levantamento Aerofotométrico. Escala: 1:10000, 1996;

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGIS 10.3.Redlands, Califórnia, EUA. 2014.

FERNANDES, L. F. S.; CARDOSO, L. V. R. ; PACHECO, F. . L.; LEITÃO, S. DRASTIC and GOD vulnerability maps of the Cabril River Basin, Portugal. ESC. Minas, Ouro Preto, v. 67, n. 2, Abril/Junho 2014.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D; D'ÉLIA, M.; PARIS, M. 2002. Groundwater quality protection. A guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies. GWMate, World Bank, Washington. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/913221468028147970/Groundwater->

quality-protection-a-guide-for-water-utilities-municipal-authorities-and-environment-agencies>. Acesso em: 28 de fev. de 2020.

FOSTER,S.; LOUCKS, D.P. (Eds.), 2006. Non-renewable groundwater resources: A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. IHP-VI. Serie on Groundwater No. 10; UNESCO, 2006.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ – FABHAT. Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 06. Ano Base 2016/2035. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/CBH-AT/11958/relatorio-i_plano_final-rev2.pdf>Acesso em 25 de Abril de 2017.

FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (FUSP); FUNDAÇÃO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (FEHIDRO). Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. São Paulo, dezembro de 2009.

GUIGUER, N., KOHNKE, M. W. Métodos para determinação da vulnerabilidade de Aquíferos. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22314/14657>. Acesso em:< 28 de fev. de 2020.

GURGUEIRA, M. D. Correlação de dados geológicos e Geotécnicos na Bacia de São Paulo. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

HIRATA, R. C. A.; FERREIRA, L. M. R. Os Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à poluição. Revista Brasileira de Geociências. V. 31, n. 1, p 43-50, 2001

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2019a. Panorâma São Bernardo do Campo. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-bernardo-do-campo/panorama>>. Acesso em: 03 mar. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2019b. Panorâma Diadema. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/diadema/panorama>>. Acesso em: 03 mar. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. Avaliação da Vulnerabilidade e Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas no

Estado de São Paulo. Relatório Final. São Paulo: IPT, 2011 (IPT. Relatório Técnico, 122.645-205). 220 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. Diagnóstico Ambiental para Subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 2009. 7v. 384 p.

KAUR, R.; ROSIN, K. G.; 2011; Ground Water Vulnerability Assessment - Challenges and Opportunities; Division of Environmental Sciences, Indian Agricultural Research Institute; New Delhi; 12p.

LEITÃO, T. E. *et al.* Poluição de águas subterrâneas: principais problemas, processos de prevenção e de reabilitação. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Cabo Verde, nov./2003.

LIAZI, A.; CONEJO, J. L.; PALOS, J. C. F.; CINTRA, P. S. Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo. São Paulo: Revista Águas e Energia Elétrica – DAEE, ano 5, n. 14. p.4-10. 1988.

LOBO-FERREIRA, J. P. C.; Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: Fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e proteção dos aquíferos de Portugal. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 4., 1998, Lisboa.

MAIA, P. H. P., CRUZ, M. J. M. Um novo método para avaliar vulnerabilidade de aquíferos. Aquat Sci. Technol, 2011

MOREIRA, C. A.; CAVALHEIRO, M. L. D.; PEREIRA, A. M.; CARON, F. Relações entre condutividade hidráulica, transmissividade, condutância longitudinal e sólidos totais dissolvidos para o aquífero livre de Caçapava do Sul (RS), Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, v. 17, n. 2, p. 193-202, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/30107>>

NOBRE, R. C. M. Avaliação de risco para o uso e proteção de aquíferos: estudo de caso: Região Metropolitana de Maceió. 2006. 296f. Tese (Doutorado) – COPPE/UFRJ, 2006. Disponível em: < www.coc.ufrj.br >. Acesso em: 28 de fev. de 2020.

- RABVAR, N.; GOLDSCHIEDER, N. Comparative application of four methods of groundwater vulnerability mapping in a Slovene karst catchment. Published in Hydrogeology Journal 17, issue 3, 725-733, 2009
- RIBEIRO, Daniela Menezes; ROCHA, Washington Franca; GARCIA, Antônio Jorge Vasconcelos. Vulnerabilidade Natural a Contaminação dos Aquíferos da Sub-bacia do Rio Siriri, Sergipe. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/734b/584a6cc88657cc4825db95e467f92524acb3.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2020.
- RICCOMINI, Claudio; SANT'ANNA, Lucy Gomes; FERRARI, André Luiz. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida[S.l: s.n.], 2004.
- SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL – CPRM; SECRETARIA DE GEOLOGIA MINERAL E TRANSFORMAÇÃO MINERAL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Mapa Geodiversidade do Estado de São Paulo. Escala 1:750.000, 2009.
- SISTEMA INTEGRADO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS (SIBH). Produtos de Chuva. Disponível em: <<http://sibh.daee.sp.gov.br/>>. Acesso em: 05 mar. 2020
- SOUSA, R. R. Estudo comparativo entre métodos de avaliação da vulnerabilidade natural de aquífero, aplicado na porção oriental da bacia sedimentar do Parnaíba no Município de Tianguá – Ceará. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- STEMPVOORT D. V., EWERT L., WASSENAAR L. Aquifer Vulnerability Index: a Gis - Compatible Method for Groundwater Vulnerability Mapping, Canadian Water. Resources Journal. v.18, n. 1, p 25-37, 1992.
- TANAJURA, S.D. Avaliação do método DRASTIC na estimativa da vulnerabilidade Intrínseca das águas subterrâneas no sistema Jacaré – Tietê/SP. SP, São Paulo, 2018.
- TODD, D.K., MAYS. L. W.: Groundwater Hydrology. 3. Ed. edition John Wiley & Sons pp. 636. 2005.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO DE JANEIRO (UERJ). Período Terciário.
Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/geografia/periodo-terciario>>.
Acesso em: 21 mar. 2020

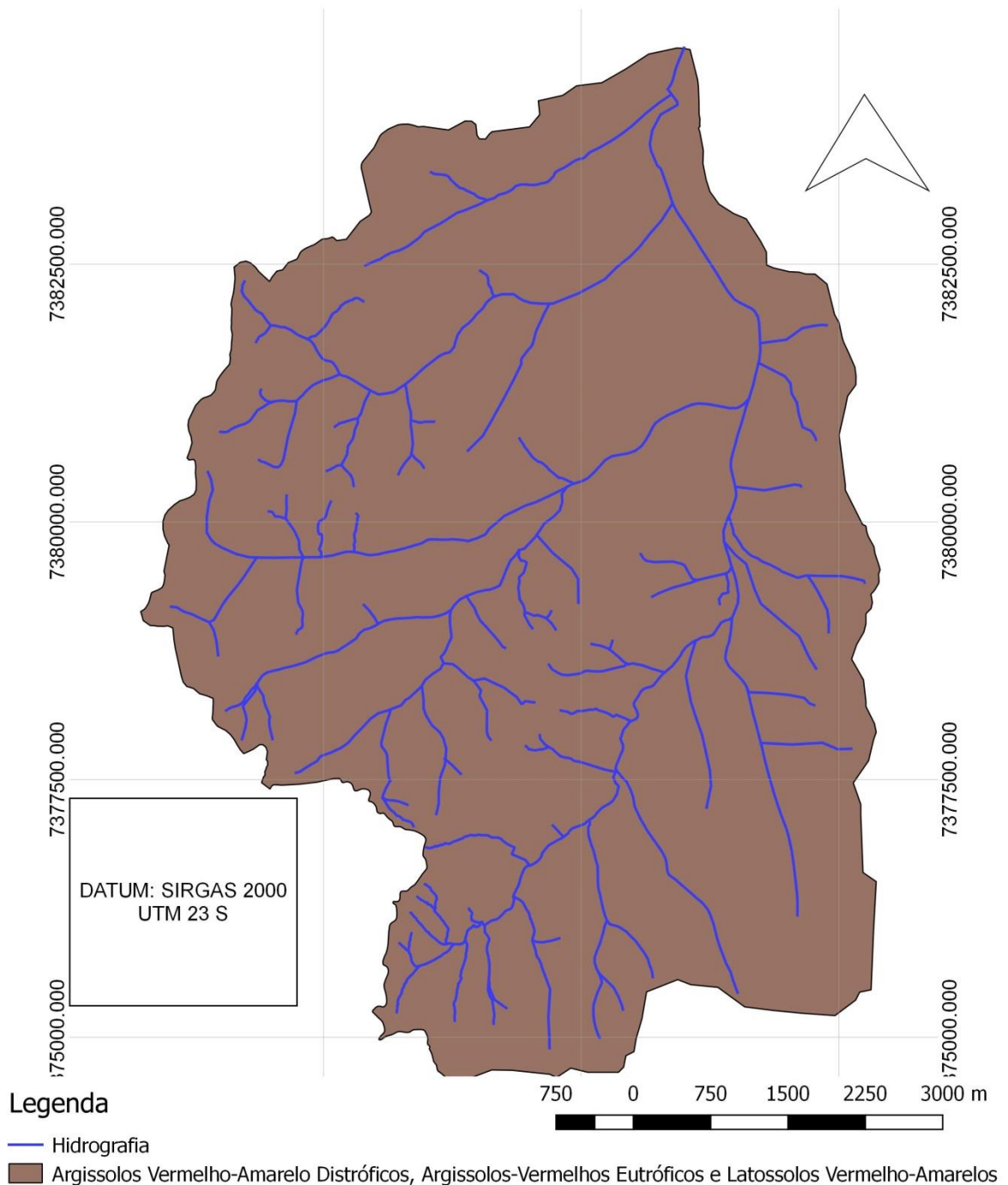
VIEIRA, S. M. Comparação entre as metodologias GOD e DRASTIC na avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas na área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani: Sub-bacia Hidrográfica do Jacaré-Pepira, São Paulo, Brasil. SP. São Paulo, 2015.

VIEIRA, S. M. Avaliação da Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros, Municípios de Diadema e São Bernardo do Campo, SP. São Paulo, 2019.

VRBA J.; ZAPOROZEC A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability, vol 16. In: International contributions to hydrogeology, Heise, Hannover, Germany, 131 p. 1994.

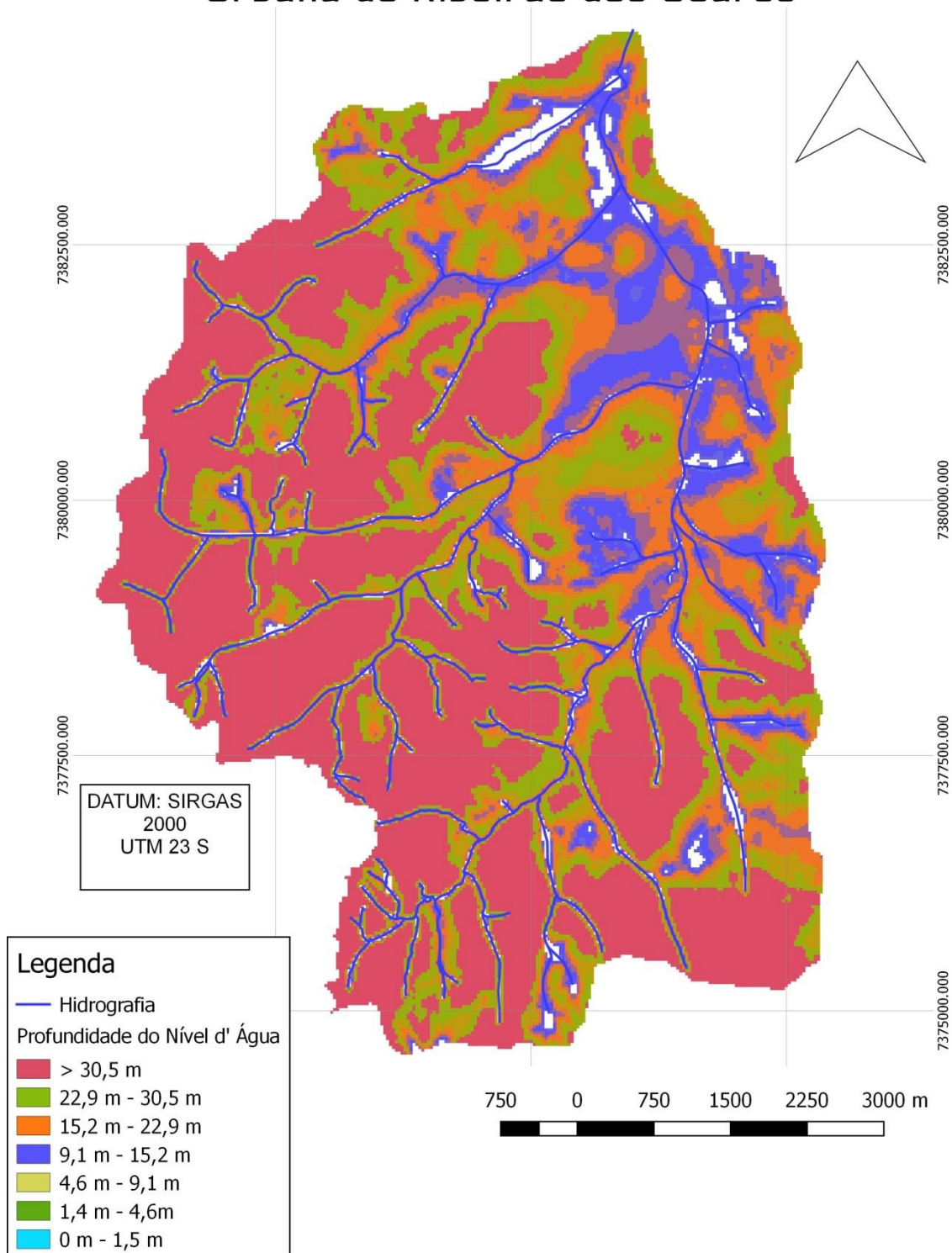
10. Anexos

Mapa de Solo da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros



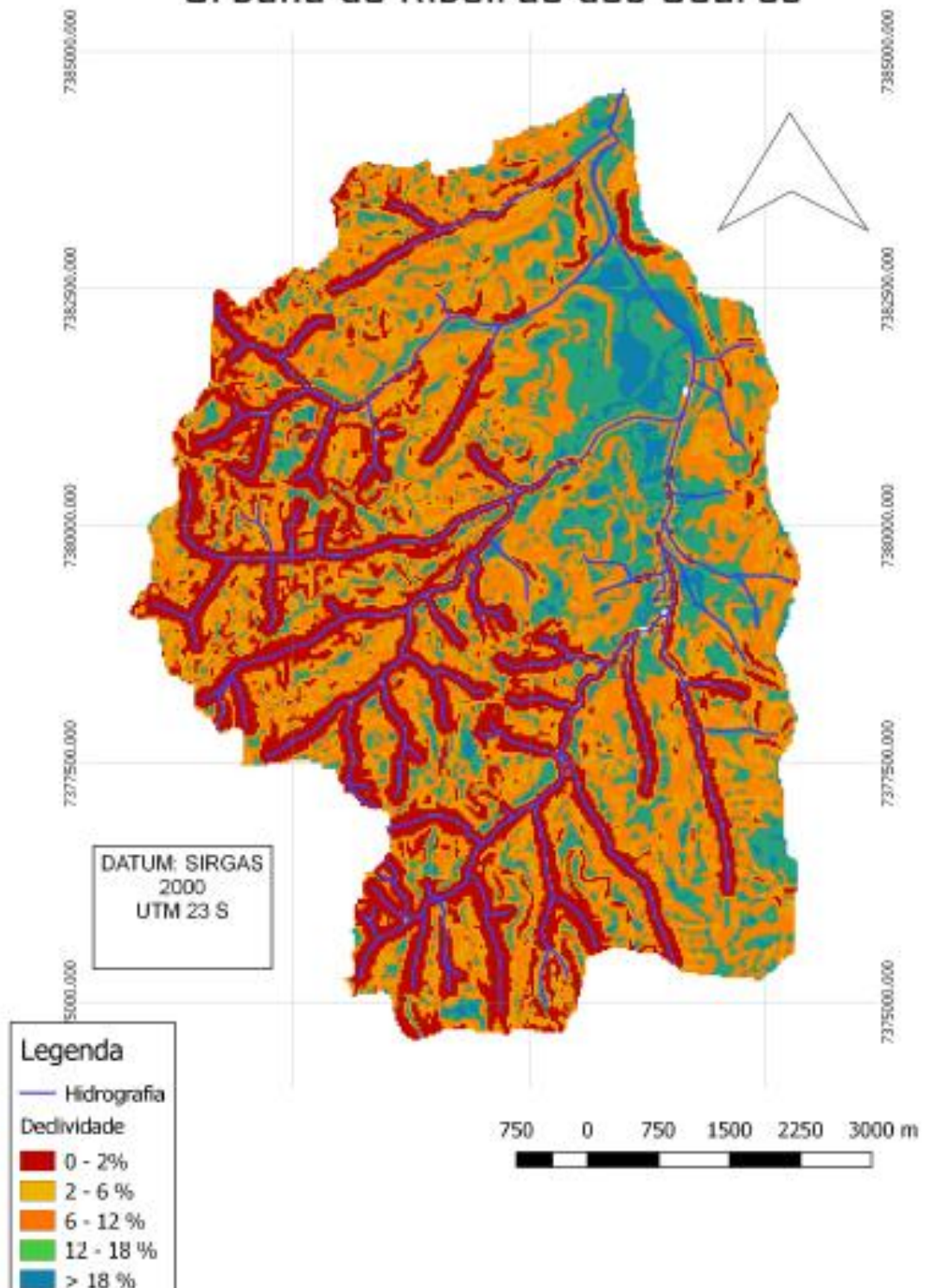
ANEXO A – Mapa do tipo de Solo Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros. Fonte: EMBRAPA, 2011.

Mapa de Nível d' Água da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros



Anexo B – Mapa de Nível d' Água da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros. Fonte: DAEE, 2018.

Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros



Anexo C – Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros. Fonte: CETESB, 2018.